Aus der Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie
der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. W. Bohndorf

REPRODUZIERBARE LAGERUNG UND IMMOBILISATION BEI BESTRAHLUNGEN AN KOPF UND HALS

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Wolfgang Henke
aus Würzburg

Würzburg, den 22.7.82

Aus der Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie
der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. W. Bohndorf

REPRODUZIERBARE LAGERUNG UND IMMOBILISATION BEI BESTRAHLUNGEN AN KOPF UND HALS

I n a u g u r a l - D i s s e r t a t i o n
verfaßt und der
Hohen Medizinischen Fakultät
der
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
zur
Erlangung der zahnmedizinischen Doktorwürde

vorgelegt von
Wolfgang Henke
aus Würzburg

Würzburg, den 22.7.82

Referent : Professor Dr.med. W. BOHNDORF

Korreferent : Professor Dr.med. G. VIEHWEGER

Dekan : Professor Dr.med. K.-A. BUSHE

Tag der mündlichen Prüfung : 1.12.1982

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Würzburg

G L I E D E R U N G

		Seite
I.	EINLEITUNG	1
1.	Bewegungsmöglichkeiten im Kopf- Hals- Bereich	2
1.1.	Articulatio atlantooccipitalis	2
1.2.	Articulationes atlantoaxialis	3
1.3.	Articulationes intervertebrales	3
1.4.	Articulatio temperomandibularis	4
1.5.	Gesamtbetrachtung	4
1.6.	Maximale Halsbeugung und Streckung	5
1.7.	Messungen über Bewegungen während der Bestrahlung	6
2.	Auswirkungen von Feldabweichungen	7
2.1.	Auswandern des Zielvolumens	7
2.2.	Strahlenbelastung kritischer Organe	10
3.	Anforderungen an Kopfhalterungen	13
II.	BEKANNTE HILFSMITTEL	14
1.	Einstellhilfen	14
1.1.	Hautmarkierungen	14
1.1.1.	Problematik	14
1.1.2.	Fluoreszierende Farbstoffe	15
1.2.	Allgemein gebräuchliche Einstellhilfen	15
1.2.1.	Einfeldbestrahlung mit vertikalem Strahleneinfall	15
1.2.2.	Schräge oder horizontale Einstrahlung	16
1.2.3.	Bewegungsbestrahlung	17
1.2.4.	Verbesserung der Lichtanzeiger	18
1.3.	Einstellung mit Hilfe einer Konturschablone	19
2.	KOPFHALTERUNGEN	20
2.1.	Reine Immobilisationshilfen	20
2.1.1.	Kopfhalter in Kastenform	21
2.1.2.	Immobilisation durch Kopfstützen	23

		Seite
2.1.3.	Zusammenfassung	28
2.2.	Immobilisation mit reproduzierbarer Lagerung	29
2.2.1.	Immobilisation bezogen auf den äußeren Gehörgang	29
2.2.2.	Kopfabdruck durch Gußverfahren	32
2.2.3.	Kopfmasken	34
2.2.4.	Kopfhalterungen über Gebißabdruck	38
2.2.5.	Zusammenfassung	39
III.	EIGENE WEITERENTWICKLUNG	41
1.	Zielsetzung	41
2.	Aufbau des Gerätes	42
2.1.	Abdrucklöffel	45
3.1.	Abformmaterialien und Abdrucknahme	49
3.1.1.	Thermoplastische Abdruckmasse	49
3.1.2.	Kaltpolymerisat als Abformmasse	50
3.1.3.	Gummielastische Abformmasse	51
3.1.4.	Zusammenfassung	51
3.2.	Lokalisation und Bestrahlung	52
4.	Genauigkeitsmessung mit Kopfhalterung	57
4.1.	Durchführung der Messung der Reproduktionsgenauigkeit	57
4.2.	Durchführung der Messung der Immobilisation	58
4.3.	Ergebnis	58
IV.	ZUSAMMENFASSUNG	60
L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S		62

I. EINLEITUNG

Auf dem Gebiet der Strahlentherapie ist es möglich, mit Hilfe von modernsten Diagnosegeräten Tumorherde genau zu lokalisieren und mittels Elektronenrechnern die für die Therapie geeignetste Bestrahlungsplanung zu erstellen. Schwierigkeiten bereitet jedoch in vielen Fällen die tägliche Reproduzierbarkeit der Lagerung, damit verbunden die Einstellung und die vollständige Immobilisation des Patienten während der Bestrahlung.

Kopf und Hals sind in allen Richtungen extrem beweglich. Hier kann es bereits durch geringe Bewegungen, während der Bestrahlung, zu einem Auswandern des Zielvolumens kommen, da die Bestrahlungsfelder meist nur relativ klein sind. Zudem besteht oft eine enge Lagebeziehung zwischen Bestrahlungsfeldern und kritischen Organen, was äußerst genaues Einhalten der Bestrahlungsplanung erfordert.

Es stellt sich folglich die Frage nach den Möglichkeiten, die Problematik der Reproduktion und Immobilisation zu lösen. Nach Darstellung der Probleme werden im Teil II dieser Arbeit die in der Literatur erwähnten Hilfsmittel und ihre Zweckmäßigkeit entsprechend der an sie zu stellenden Anforderungen beschrieben.

Im dritten Teil wird die eigene Weiterentwicklung einer Kopfhalterung vorgestellt, die mit Hilfe von Gebißabdrücken eine exakte Reproduktion und Immobilisation ermöglicht. Einen wesentlichen Fortschritt stellen besonders die aufgezeigten Methoden dar, um bei den verschiedensten Gebißzuständen befriedigende Ergebnisse zu erzielen.

1. Bewegungsmöglichkeiten im Kopf- Hals- Bereich

Die große Bewegungsmöglichkeit des Kopfes beruht auf dem Zusammenspiel vieler Einzelgelenke. Diese werden entweder den beiden Kopfgelenken, Articulatio atlantooccipitalis und Articulatio atlantoaxialis oder den Articulationes intervertebrales zugerechnet. Nicht unerwähnt bleiben dürfen die beiden Kiefergelenke, welche für sich eine Bewegungsvielfalt des Unterkiefers ermöglichen.

Die folgenden Abschnitte sollen keine anatomischen Fachkenntnisse vermitteln, sondern die skelettalen Grundlagen (nach K. D. Mörike, T. v. Lanz, T. H. Schiebler) der einzelnen Gelenke und ihre jeweiligen Bewegungsmöglichkeiten aufzeigen.

1.1. Articulatio atlantooccipitalis

Es stellt die Verbindung zwischen Schädelbasis und Halswirbelsäule dar. Rechter und linker Condylus occipitalis bilden dabei mit der entsprechenden Fovea articularis superior des Atlas je ein Gelenk. Die beiden Condylen gehören zu dem Partes laterales des Os occipitale und sitzen an den Seiten des Foramen magnum. Es sind konvex gebogene, längliche Gelenkhöcker, deren Längsachsen nach vorn hin konvergieren. Die beiden Fovea articularis superior sitzen dem Massae lateralis des Atlas auf. Es sind in der Regel länglich, ovale Mulden, deren Konkavität in Längsrichtung größer als in Querrichtung ist. Die Längsachsen laufen von hinten lateral nach vorn medial, so daß sie sich knapp vor dem Tuberculum anterius kreuzen.

Die Gelenkflächen beider Seiten zusammen betrachtet, stellen Ausschnitte eines Ellipsoids dar, dessen Mittelpunkt oberhalb des Foramen magnum liegt. Es handelt sich also bei der Articulatio atlantooccipitalis (Betrachtung als ein Gelenk) um ein Ellipsoidgelenk mit 2 Hauptachsen. Um die größere Transversalachse sind Ventralflexionen bis 20 ^{o} und Dorsalflexionen bis 30 ^{o} , um die kleinere Longitudinalachse La-

teralflexionen nach jeder Seite bis 7,5 ° möglich (Angaben nach T. H. Schiebler). Dabei ist bei leichter Ventralflexion die größte Lateralflexion möglich. Gehemmt werden diese Bewegungen durch Bänder, antagonistische Muskeln oder Anstoßen des Atlas an Occiputteile.

1.2. Articulationes atlantoaxialis

Sie bilden die gelenkige Verbindung zwischen Atlas und Axis. Insgesamt sind es vier Gelenkspalte, die, den Articulationes atlantoaxialis medianae bzw. laterales zugeordnet werden. Der Dens axis sitzt dem Corpus axis auf und ragt in das Foramen vertebrale atlantis. Dabei bildet die Facies articularis anterior dentis mit dem Arcus anterior atlantis und die Facies articularis posterior dentis mit der überknorpelten Vorderfläche des Ligamentum transversum atlantis je einen Gelenkspalt. Dieses mittlere Gelenk stellt ein Drehgelenk dar, dessen Achse längs durch den Dens axis verläuft. Die beiden seitlichen Gelenke werden durch die Fovae articularis superior axis gebildet.

Da sowohl die oberen, als auch die unteren Gelenkflächen leicht konvex sind, kommt es bei einer Drehbewegung des Atlas um den Dens zu einem Absinken des Kopfes bis zu 3 mm. Aus der Mittelstellung ist eine Drehung bis ca. 30 ° nach jeder Seite möglich. Besonders hemmend wirken dabei die Ligamenta alaria, die bei Drehungen aus der Mittelstellung um den Dens axis gewickelt werden.

Seitliche und mittlere Atlantoaxialgelenke bilden also eine Einheit, die hauptsächlich eine Rotation, in kleinem Umfang jedoch auch Flexionen ermöglichen.

1.3. Articulationes intervertebrales

Vom 2. Halswirbel abwärts spricht man allgemein von den Articulationes intervertebrales, die alle ähnlichen Aufbau zeigen. Bei dieser Betrachtung interessieren besonders die Verbindungen der Halswirbel, die annähernd ebene Gelenke darstellen. Es liegt jeweils eine dreifache Verbindung zwischen 2 Wirbeln

vor. Beidseitig articuliert der Processus articularis superior mit dem Processus articularis inferior des darüberliegenden Wirbels. Die dritte Verbindung bilden die Disci intervertebrales zwischen den Wirbelkörpern. Sie bestehen aus einem Faserknorpelring mit einem Gallertkern. Da die Zwischenwirbelscheiben mit den Grund- und Deckplatten der benachbarten Wirbelkörper fest verwachsen sind, wird diese Verbindung als Synchondrose bezeichnet.

Eine Articulatio intervertebrales stellt eine Einheit dar, die als beschränktes Kugelgelenk bezeichnet werden kann, wobei die Einschränkung auf der Stellung der seitlichen Gelenkflächen beruht. In der Halswirbelsäule bestehen jedoch Bewegungsmöglichkeiten um alle drei Raumachsen.

1.4. Articulatio temperomandibularis

In beiden Kiefergelenken artikuliert das Caput mandibulae mit der entsprechenden Facies articularis des Os temporale. Da der zwischen beiden Gelenkflächen gelegene Discus articularis ringsum mit der Gelenkkapsel verwachsen ist, spricht man auch von einem oberen discotemporalem- und einem unteren discomandibulärem Gelenk.

Gesamt betrachtet, handelt es sich um ein Scharniergelenk mit wandernder Achse, was eine enorme Bewegungsvielfalt ermöglicht. Im Rahmen dieser Arbeit würde eine genauere Beschreibung zu weit führen.

1.5. Gesamtbetrachtung

Neben den bisher beschriebenen Einzelbewegungen in jedem Gelenk, gibt es beliebige Kombinationen derselben. Außerdem ist das Zusammenwirken der Gelenke untereinander fast unbegrenzt möglich. Einschränkend wirken wie bei den Einzelgelenken Bänder-, Muskel und Knochen. Aus diesem Grund ist der Gesamtbewegungsumfang des Kopfes in eine Richtung auch kleiner, als die Summe der maximal durchführbaren Einzelbewegungen in jedem Gelenk. So soll z. B. die maximal mögliche Rotation des Kopfes im Verhältnis zum Rumpf 90 ^{o} nach jeder Seite und die maximale

Seitneigung je 45 ^{o} betragen. Diese Werte sind jedoch nur Anhaltspunkte, da die Beweglichkeit individuell und altersabhängig sehr unterschiedlich ist.

1.6. Maximale Halsbeugung und Streckung

Von einem Patienten wurden Scanogramme bei verschiedener Halsstreckung, ansonsten jedoch identischer Lagerung, angefertigt. In der Abb. 1 sind die Scanogramme der geringsten und größten Streckung des Halses übereinanderprojeziert. Man sieht, daß sich z. B. der Orbitahintergrund maximal bei diesem Patienten um 3,6 cm horizontal verlagern kann. Beim Kieferwinkel ergibt sich eine größtmögliche Horizontalveränderung von 1,6 cm und eine Vertikalveränderung von 6,4 cm. Bei der Vorderkante des 7. Halswirbelkörpers betragen die entsprechenden Werte 1,4 cm horizontal und 6,4 cm vertikal.

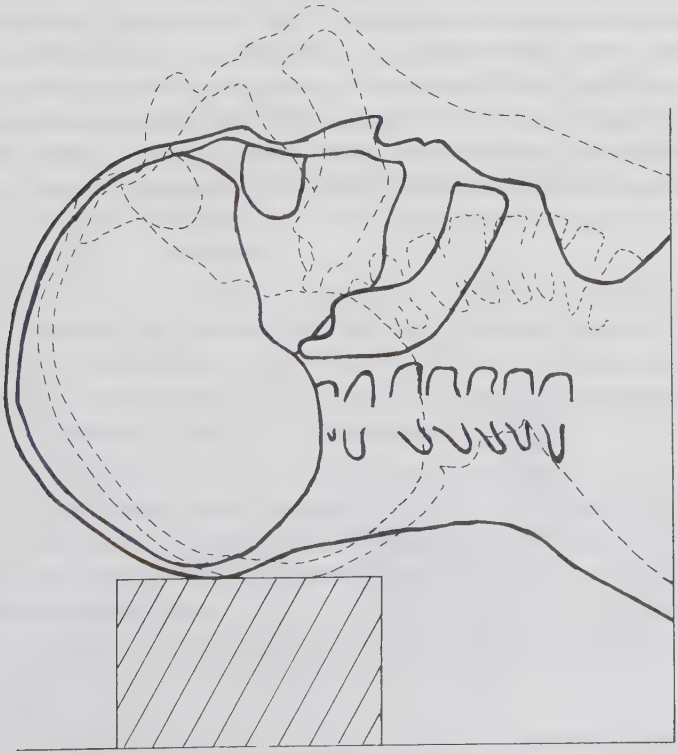


Abb. 1

1.7. Messungen über Bewegungen während der Bestrahlung

Um Bewegungen während der Bestrahlung messen zu können, bedienten wir uns des raumbezogenen Koordinatensystems, wonach mittels 3 Lichtzeigern und Hauttätowierungen die Patienten ohne Kopfhalterung ausgerichtet werden. Bei der Auswahl der Patienten wurde lediglich darauf geachtet, daß sich die Markierungen an wenig verschieblichen Hautstellen befanden.

Es wurde wie folgt verfahren : Die Patienten wurden ausgerichtet, bis alle 3 Hauttätowierungen von den Lichtzeigern exakt getroffen wurden. Nach Durchführung der Bestrahlung wurde die Abweichung jedes Lichtzeigers von seiner zugehörigen Markierung gemessen.

An den 5 ausgewählten Patienten, mit einem Alter zwischen 50 und 72 Jahren, wurden so an 5 Tagen insgesamt 25 Messungen durchgeführt, die 75 Meßwerte lieferten. 36 % dieser Werte ergaben eine Abweichung von 2 mm, 12 % lagen darunter. 45,3 % verteilten sich ungefähr gleichmäßig auf Abweichungen zwischen 3 und 5 mm. 6,7 % brachten Abweichungen bis 9 mm (s. Abb. 2). Dies ergibt einen durchschnittlichen Wert von über 3 mm. Jedoch nicht dieser Wert ist so beunruhigend , sondern die Tatsache, daß Abweichungen bis 9 mm vorkamen.

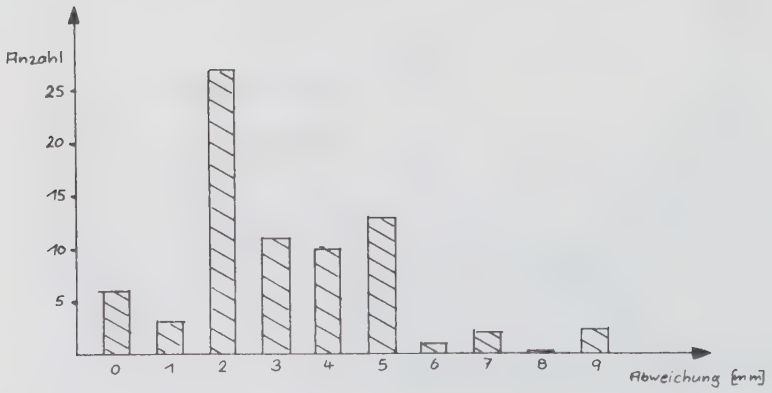


Abb. 2

2. Auswirkungen von Feldabweichungen

2.1. Auswandern des Zielvolumens

Als Beispiel sei eine horizontale Gegenfeldbestrahlung eines Hypopharynxtumors bei überstrecktem Hals betrachtet.

Die Abb. 3 a (s. Seite 8) zeigt einen Querschnitt durch den Tumorherd bei richtiger Lagerung und die der Bestrahlungsplanung entsprechende Isodosenverteilung. Es ist zu erkennen, daß der Tumorherd innerhalb der 90 % - Isodose liegt.

Folgende Annahme führt zum Auswandern des Zielvolumens. Der Patient wird der Planung entsprechend korrekt mit überstrecktem Hals eingestellt. Während der Bestrahlung nimmt der Patient unbewußt eine für ihn bequeme Lage ein, indem er die Streckung des Halses verringert.

Die Auswirkung dieser Lageveränderung während der Bestrahlung zeigt die Abb. 3 b (s. Seite 8). Sie stellt einen Querschnitt in gleicher Höhe durch den Tumorherd desselben Patienten dar. Man sieht, daß sich der Tumorherd, bezogen auf den Bestrahlungstisch und den einfallenden Zentralstrahlen, um ca. 2,5 cm gesenkt hat. Für diese neue Situation wurde ebenfalls die Isodosenverteilung berechnet und in den Querschnitt eingetragen. Innerhalb des Tumors kommt es nun zu einem Abfall von der 90 % - auf die 10 % - Isodose.

Wie das Beispiel zeigt, kann es auch bei richtiger Einstellung der Patienten zum Auswandern des Zielvolumens kommen, falls keine Vorkehrungen (Kopfhalterungen) getroffen werden, um Bewegungen zu unterbinden. Auf die Vielzahl der Bewegungsmöglichkeiten wurde in Teil 1. eingegangen.

Um das Auswandern des Zielvolumens nochmals zu verdeutlichen, seien zwei Scanogramme eines Patienten angeführt. Die Abb. 4 a und 4 b (s. Seite 9) zeigen schematisch diese Scanogramme, bei Einstellung entsprechend Bestrahlungsplanung, bzw. bei verringerter Halsstreckung.

Abb. 3 a

Normalfall

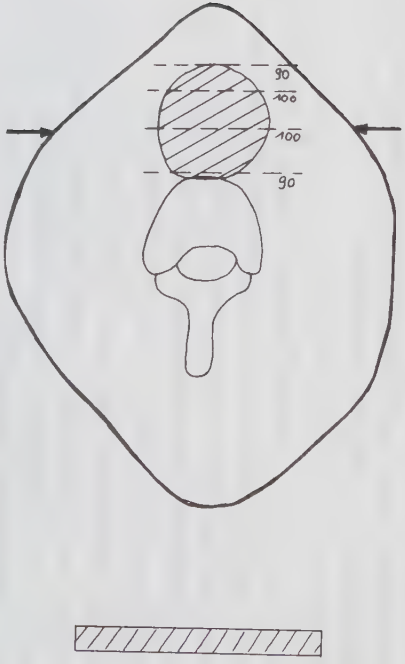
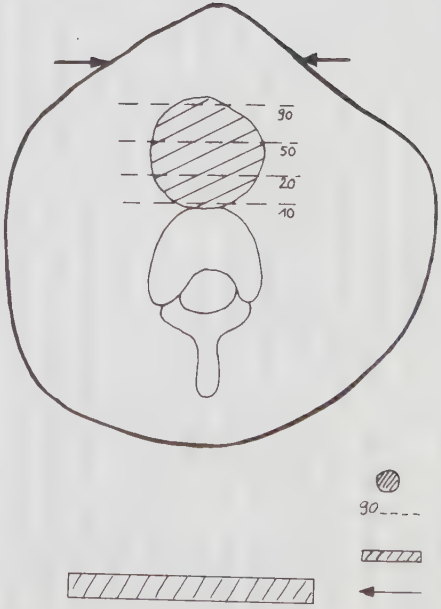


Abb. 3 b

verringerte Halsstreckung



Tumor

90---- 90 % Isodose

Therapietisch

Zentralstrahl

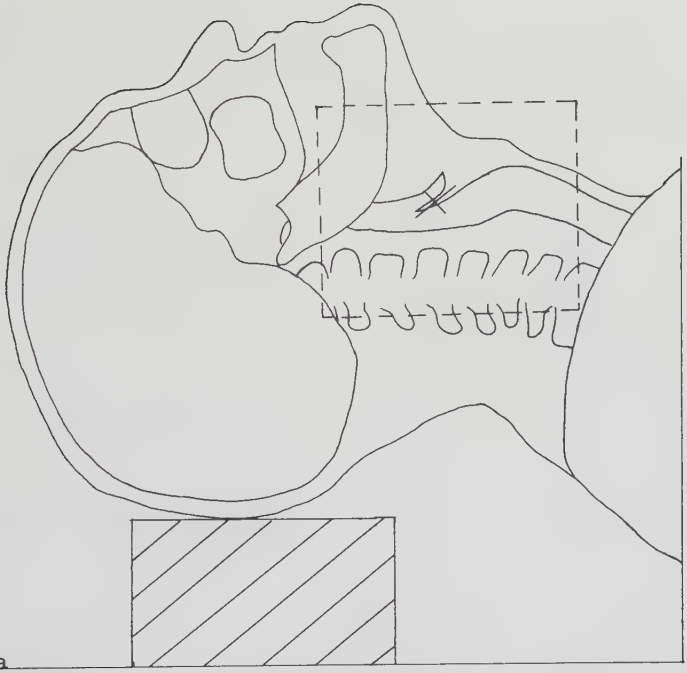


Abb. 4 a
überstreckt

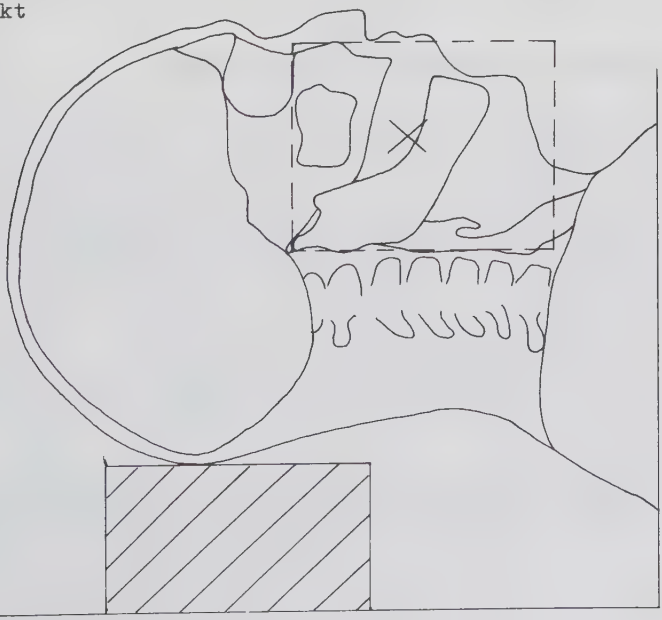


Abb. 4 b
Normalfall

Die Abb. 5 a und 5 b stellen daraus einen räumlich identischen Bildabschnitt dar, in dem die Trachea enthalten ist. Bei Annahme der Epiglottis als Zielvolumen erkennt man ein Auswandern desselben um 5 cm.

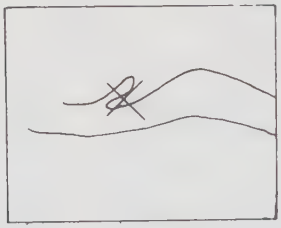


Abb. 5 a

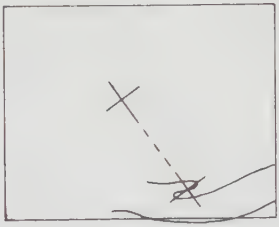


Abb. 5 b, Auswandern des Zielvolumens

Ebenso ist es natürlich möglich, daß das Zielvolumen auf Grund falscher Feldeinstellung nicht voll getroffen wird.

2.2. Strahlenbelastung kritischer Organe

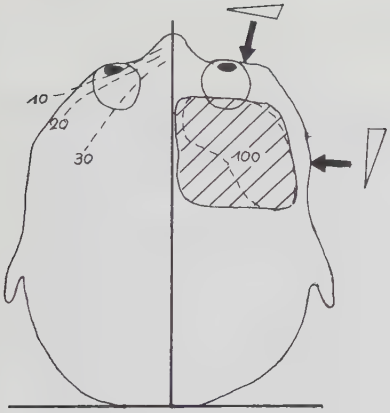
Besonders im Kopf- Hals- Bereich besteht oft eine enge Beziehung zwischen sogenannten kritischen Organen und Tumorherden. Dem muß bei der Bestrahlungsplanung besonders Rechnung getragen werden, da zu hohe Strahlenbelastung von z. B. Augenlinse, Hirnstamm oder Rückenmark zu schwerwiegenden Folgen führen können. Ebenso muß die Strahlenbelastung von Schleimhäuten möglichst gering gehalten werden.

Im folgenden Beispiel werden die Auswirkungen von Kopfdrehungen bei der konvergierenden Bestrahlung eines linksseitigen, parabulbären Tumors auf die Linse des rechten gesunden Auges beschrieben.

Es wird von der Annahme ausgegangen, daß die Einstellung richtig erfolgt. Abb. 6 a (s. Seite 11) zeigt den Querschnitt

Abb. 6 a

Normalfall



Tumorherd

Augenlinse

30--- 30 % Isodose

Zentralstrahl

Abb. 6 b

5° Drehung

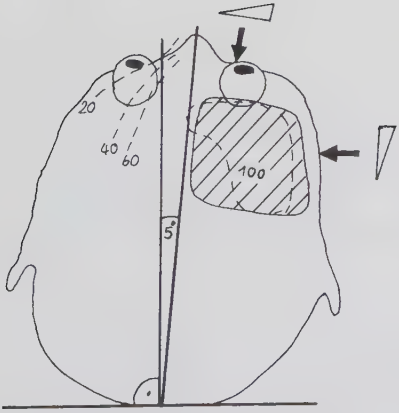
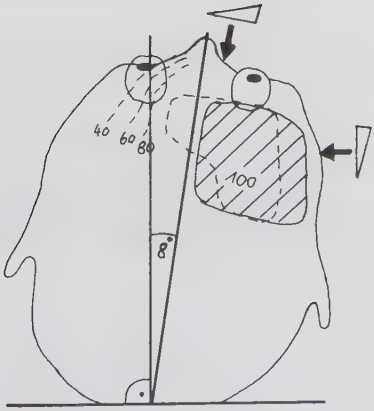


Abb. 6 c

8° Drehung



durch den Tumorherd des Normalfalles und die bei der Planung berechnete Isodosenverteilung. Die Linse des rechten Auges wird von der 10 % - Isodose getroffen, was im beschriebenen Fall einer Gesamtbelastung von 4,60 gy während der Bestrahlung entspricht.

Die Abb. 6 b und 6 c (s. Seite 11) zeigen die entsprechenden Querschnitte mit den berechneten Isodosenverteilungen, die sich ergeben würden, falls bei richtiger Einstellung, während der Bestrahlung eine Kopfdrehung um 5 ^{o} bzw. 8 ^{o} (Drehpunkt ist die Auflage des Kopfes) erfolgt. Hierdurch ändert sich die Lage des Kopfes bezüglich der Strahlenquelle. Es ist erkennbar, daß bei einer 5 ^{o} Drehung die Linse von der 20 % - Isodose, bei einer 8 ^{o} Drehung sogar von der 40 % - Isodose getroffen wird. Dies entspricht im beschriebenen Fall einer Strahlenbelastung von 18,40 gy, was eine Linsentrübung verursachen würde. Vergleichbar hohe Strahlenbelastungen kritischer Organe können auch durch die verschiedensten Bewegungen, was ein Abweichen von der Planung bedingt, verursacht werden. Dies fordert wiederum die Immobilisation während der Bestrahlung.

3. Anforderungen an Kopfhalterungen

Wie die vorausgegangenen Ausführungen zeigen, ist es bei der Strahlentherapie im Kopf- Hals- Bereich unbedingt erforderlich Hilfsmittel, allgemein als Kopfhalterungen bezeichnet, zu benutzen, um korrekte Bestrahlungen durchführen zu können. An diese Kopfhalterungen sind folgende Anforderungen zu stellen :

Sie sollen die täglich reproduzierbare Lagerung und damit Einstellung der Patienten erleichtern und zusätzlich vollständige Immobilisation während der Bestrahlung gewährleisten. Wünschenswert ist auch die Übertragung einer bestimmten Lagerung vom Lokalisationstisch (Simulatortisch) auf den Therapietisch mittels der Kopfhalterung, und die Möglichkeit alle Lagerungsarten und Bestrahlungstechniken durchführen zu können. Dabei sollte eine Kopfhalterung einerseits kräftig und stabil, andererseits aber leicht transportierbar sein, falls sie z. B. wegen anderen Bestrahlungen einmal vom Therapietisch entfernt werden muß.

Bezüglich der Handhabung stellen sich die Forderungen, daß sie von jedem leicht und schnell zu bedienen sind, und den Therapiebeginn nicht verzögern, sobald eine Anfertigung von individuellen Teilen erforderlich ist.

Zudem ist es empfehlenswert, daß sie von den Patienten nicht alzu störend und unbequem empfunden werden.

Als letztes ist noch die Kostenfrage zu betrachten, wobei zu berücksichtigen ist, daß einige Kopfhalterungen eine einmalige Anschaffung darstellen, während andere für jeden Patienten auf Grund individueller Teile finanzielle Aufwendungen erfordern.

II. BEKANNTE HILFSMITTEL

1. Einstellhilfen

Es sind Markierungen auf der Körperoberfläche der Patienten, auf die entweder mechanische oder Lichtanzeiger ausgerichtet werden. Dies erleichtert und beschleunigt die tägliche Einstellung der Bestrahlungsfelder und verbessert deren Reproduzierbarkeit.

1.1. Hautmarkierungen

Markiert werden auf der Haut z. B. Eintrittstelle des Zentralstrahls, Feldgröße und weitere Hilfspunkte in Bezug auf Koordinatensysteme. An dieser Stelle soll jedoch mehr die Problematik der Markierungen erörtert werden. Auf die Art wird im Abschnitt (1.2.) näher eingegangen.

1.1.1. Problematik

Das Hauptproblem bereitet die Verschieblichkeit der Haut auf ihrer Unterlage. Als Folge hiervon ändert natürlich auch die Hautmarkierung ihre Lage bezüglich des Tumorherdes. Hervorgerufen werden solche Verschiebungen der Haut durch verschiedene Muskelspannungen, oder Lagerungen einzelner Körperteile. Im Halsbereich wirkt sich besonders stark die Streckung des Halses und die Lage der Arme aus. Auch krankheitsbedingte Veränderungen, wie Abmagerung, können Einfluß nehmen. Um wenigstens verschiedene Lagerungen auszuschließen, sollten diese genau im Bestrahlungsplan vermerkt werden. Als sehr nützlich hat sich auch eine Fotographie oder Lagerung bei der Lokalisation erwiesen.

Weiter bereitete die Beständigkeit der Markierungen auf der Haut Schwierigkeiten. Nicht selten kommt es vor, daß besonders bei ambulanten Patienten nach einer Bestrahlungspause über das Wochenende die Hautmarkierungen nicht mehr aufzufinden sind. Die Entwicklung von wasserbeständigen Farbstoffen

und Tinten hat zwar Fortschritte gemacht, doch gewähren sie keine absolute Sicherheit. Diese Forderung erfüllen während einer Bestrahlungsserie jedoch Tätowierungen. Sie bieten zusätzlich den Vorteil, daß sie sehr präzise Punkte bezeichnen können, verblaßen aber andererseits erst nach sehr langer Zeit. Kosmetische Gesichtspunkte sollten ebenfalls nicht unberücksichtigt bleiben, da besonders im Kopf- Hals- Bereich Zeichnungen der Haut, die allgemein sichtbar sind, oft einen negativen Einfluß auf die Psyche des Patienten ausüben. Abhilfe bieten fluoreszierende Farbstoffe.

1.1.2. Fluoreszierende Farbstoffe

R. J. Cowan benutzt einen fluoreszierenden Farbstoff der auf der Haut beständig ist und mit Hilfe einer UV - Lampe sichtbar gemacht werden kann. Die Beständigkeit wird durch einen Zusatz von schwach essigsaurer Lösung erreicht. Es erfolgt dadurch eine Umwandlung in eine fettlösliche, freie, nicht fluoreszierende Säure. Durch Kontakt mit der Haut wird dieser Vorgang umgekehrt. Die Anwendung wird folgendermaßen beschrieben : 0,5 % - iges Sodium Fluorescein, gelöst in 70 % - igem Äthylalkohol um die Verdampfungszeit zu vermindern, wird mit einem Baumwollstäbchen auf die Haut aufgetragen. Dieselben Linien werden dann mit 10 % - iger Essigsäure übermalt. Nach kurzer Trockenzeit ist die Lösung beständig. Baden ist erlaubt, übermäßiges Schrubben sollte jedoch vermieden werden. Auch empfiehlt es sich, nach ungefähr 5 Tagen die Linien nachzufahren. Vorsicht ist bei Anwendung der UV - Lampe zur Sichtbarmachung geboten. Die Augen müssen unbedingt geschlossen werden, um Hornhautverletzungen zu vermeiden.

1.2. Allgemein gebräuchliche Einstellhilfen

Nach Art der Bestrahlungstechnik sind verschiedene Hilfmittel erforderlich (S. Matschke).

1.2.1. Einfeldbestrahlung mit vertikalem Strahleneinfall

In diesem Fall ist es ausreichend, die Feldgröße und den Schnittpunkt des Zentralstrahls mit der Körperoberfläche auf

der Haut zu markieren. Der Zentralstrahl, der entweder durch einen Zentrierstab (am Strahlerkopf anschraubbar) oder ein Lichtvisier im Strahlerkopf dargestellt wird, wird dementsprechend ausgerichtet. Mit einem Lichtvisier, das den Vorteil bietet während der Bestrahlung nicht entfernt werden zu müssen, kann man zusätzlich bequem die Feldgröße festlegen. In der Telegamatherapie hat der Quelle- Haut- Abstand für die Reproduzierbarkeit einer vorgegebenen Strahlendosis einen großen Einfluß. Er wird entweder durch Meßbänder, die im Zentralstrahl angebracht sind, oder mit einem optischen Distanzanzeiger, über den J. Roth berichtet, ermittelt. Dieser besteht aus zwei um 90 ^{o} verschobene Lichtprojektoren, welche an der Stirnseite des Bestrahlungskopfes um den Zentralstrahl drehbar angeordnet sind. Sie erzeugen auf der Hautoberfläche eine Längeneinteilung und rechtwinkelig dazu eine Strichmarke. Wo beide zusammentreffen, kann man direkt den Abstand ablesen.

1.2.2. Schräge oder horizontale Einstrahlung

- Backpoint - Prinzip (Gegenpunktzeiger)

Hierbei wird der Verlauf des Zentralstrahls durch Ein- und Austrittsstelle an der Oberfläche des Patienten markiert. Für die Anwendung gibt es verschiedene Möglichkeiten :

An der Röhrenhaube ist ein Bogen befestigt, an dessen Ende sich ein im Zentralstrahl verschiebbarer Stab (Gegenpfeil) befindet. Dieser wird auf die Austrittsstelle des Zentralstrahls eingestellt während ein Lichtvisier im Strahlerkopf die Eintrittsstelle markiert.

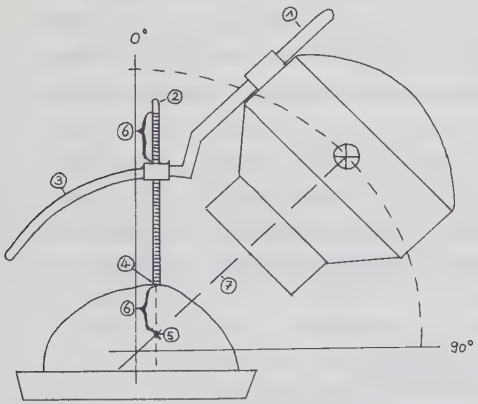
Eine andere Konstruktion wird häufig bei Co ^{60} - Geräten angewandt. Als Gegenpunktzeiger, der im Gegengewicht untergebracht ist, dient entweder ein verschiebbarer Pfeil oder ein optisches System, das einen Lichtpunkt erzeugt.

- Pin and arc (Bogenlotzeiger)

Er findet vor allem bei schräger Bestrahlung Anwendung. Am Strahlerkopf ist seitlich ein Gleitstück befestigt, das pa-

rallel zum Zentralstrahl verschoben werden kann. An seinem Ende befindet sich eine bogenförmige Metallschiene, auf der ein Läufer, mit einem radial verschiebbaren Stab mit Zentimetereinteilung, angebracht ist. In Nullstellung des Stabes (Pin) berührt dieser den Zentralstrahl.

Wirkungsweise : (s. Abb. 7) Unter Durchleuchtungskontrolle wird die Herdtiefe unter der Markierungsstelle bestimmt. Der Pin wird um diesen Betrag aus der Nullstellung verschoben, nachdem er je nach Stellung des Strahlerkopfes senkrecht oder waagrecht ausgerichtet wurde. Anschließend wird der Pin auf die Markierungsstelle aufgesetzt. Die Verlängerung des Pins und Zentralstrahl schneiden sich dann im Herd.



1) Gleitstück
2) Pin
3) Arc
4) Markierungsstelle
5) Tumorherd
6) Herdtiefe
7) Zentralstrahl

Abb. 7, nach S. Matschke

1.2.3. Bewegungsbestrahlung

Für diese Bestrahlungsart reichen die zuvor aufgeführten Hilfsmittel nicht aus. Zusätzlich zur Eintrittsstelle des Zentralstrahls bei senkrechtem Strahlengang werden zwei weitere laterale Markierungspunkte gewählt. Sie befinden sich in Höhe des Herdgebietes und können bei einer Winkeleinstel-

lung von 90 ° bzw. 270 ° des Bestrahlungskopfes mit dessen Lichtvisier angepeilt werden. Die waagrechten Lichtstrahlen stehen genau gegenüber und bilden mit dem senkrechten Strahl einen 90 ° Winkel. Der Schnittpunkt befindet sich genau im Isozentrum.

Nachteilig ist hierbei, daß die Lage der einzelnen Markierungspunkte nicht gleichzeitig, sondern nacheinander mit dem Lichtvisier des Bestrahlungskopfes kontrolliert werden muß. Deshalb ist man auf ein geräte- oder raumbezogenes Koordinatensystem übergegangen.

Die Lichtanzeiger sind weiterhin auf das Isozentrum ausgerichtet. Die Anzeige des medialen Punktes erfolgt mit dem Lichtvisier des Bestrahlungskopfes (in 0 ° Stellung). Beim gerätebezogenem System sind die Seitenpunktzeiger ausschwenkbar mit dem Bestrahlungskopf verbunden, beim raumbezogenen System sind sie fest im Raum angebracht. Die Einstellung der Winkel, die die Bewegungsbestrahlung begrenzen, erfolgt direkt am Gerät.

Wegen der einfachen Anwendung und der relativ guten Reproduzierbarkeit der Lagerung und damit Einstellung der Patienten, hat sich das raumbezogene Koordinatensystem auch bei den zuvor beschriebenen einfacheren Bestrahlungstechniken als Einstellhilfe durchgesetzt.

1.2.4. Verbesserung der Lichtanzeiger

Herkömmliche Lichtanzeiger verwenden optische Systeme mit Glühlampen und Linsen. Ihr Nachteil liegt darin, daß das vom Lichtstrahl auf der Patientenoberfläche erzeugte Bild bei einem größeren Abstand Patient - Lichtstrahler unschärfer und nur noch schwach leuchtend wird. Als Alternative bieten sich Gas-Laser (Helium, Neon), wie von J. Chavaudra beschrieben , an. Dank der großen Leuchtintensität des Strahlenbündels, das ein einziger Laser aussendet, ist es möglich, das Primärbündel in mehrere sekundäre Bündel aufzuteilen, die über Spiegel und Linsen weitergeleitet werden können. So kann man mit einem Laser mehrere Leuchtmarkierungen auf dem Patienten erzeugen. Die Laser

bieten weiter den Vorteil, daß ihr Bild auch bei normaler Raumbeleuchtung noch gut sichtbar, und wegen der geringen Divergenz der Laserstrahlen auch bei größerer Distanz noch scharf gezeichnet ist. Messungen des Lichtflusses haben ergeben, daß keine Gefahr für die Augen besteht.

1.3. Einstellung mit Hilfe einer Konturschablone

Das zu bestrahlende Volumen wird in kranio - kaudaler Richtung bestimmt und am Patienten markiert. Anschließend wird an einer durch die Feldmitte gezeichneten Linie, in anterior-posteriorer Richtung, mit Hilfe eines Zeichengerätes die Kontur des Patienten abgenommen (H. D. Kogelnik, P. R. Reddi). Der Patient wird später immer wieder unter gleichen Bedingungen gelagert. Auf dem Zeichenblatt werden ferner vertikale und horizontale Achse, sowie Feldgrenzen und für die Lagerung wichtige Parameter eingetragen.

Nach erfolgter Bestrahlungsplanung wird die Kontur mit wesentlichen Markierungen und Koordinatenachsen auf einen Karton übertragen. Dieser wird entlang der Kontur bis unterhalb der anterioren und posterioren Mediane und parallel zu den eingezeichneten Koordinaten ausgeschnitten. Am oberen Rand wird eine kleine Wasserwaage befestigt. Vor jeder Bestrahlung wird der Karton an der am Patienten angezeichneten Linie angesetzt und mit Hilfe der Wasserwaage ausgerichtet. Der Patient befindet sich dann in derselben Lage, wie bei der Bestrahlungsplanung. Das Bestrahlungsgerät wird dann so ausgerichtet, daß sich optische Anzeigen, z. B. für den Zentralstrahl, mit Markierungen auf dem Karton decken.

Sollte diese eine Konturschablone für eine exakte Reproduzierbarkeit der Lagerung nicht ausreichend sein, so kann eine zweite Kontur in kranio - kaudaler Richtung durch die Feldmitte in gleicher Weise abgenommen werden.

2. KOPFHALTERUNGEN

Als Kopfhalterungen werden solche Vorrichtungen bezeichnet, deren Verwendung eine Immobilisation des Kopfes, damit verbunden weitgehend auch des Halsbereiches, ermöglichen soll. Während einige ausschließlich dieses Ziel verfolgen, erleichtern andere zusätzlich eine Reproduktion der Lagerung von Kopf und Hals. Unter diesen Gesichtspunkten erfolgte auch die Einteilung. In den einzelnen Gruppen sind dann Vorrichtungen zusammengefaßt, die nach einem ähnlichen Prinzip arbeiten.

Das Ziel der folgenden Betrachtung soll es sein, nach der Beschreibung bisher bekannter Kopfhalterungen, deren Vor- und Nachteile abzuwägen und anhand der an sie zu stellenden Anforderungen (s. Einleitung) die Frage nach der Zweckmäßigkeit ihres Einsatzes zu stellen.

Da es auf dem Gebiet der Strahlentherapie nur wenige Literaturhinweise über Kopfhalterungen gibt, wurde die Literatursuche allgemein auf Kopfhalterungen ausgedehnt. Erschien eine Verwendung dieser Geräte, gegebenfalls durch Verbesserungen, auch bei der Strahlentherapie als möglich, so werden sie gleichfalls mit aufgeführt.

2.1. Reine Immobilisationshilfen

Sie dienen ausschließlich der Immobilisation. Um die Lagerung des Patienten bei der täglichen Bestrahlung zu reproduzieren, bedarf es zusätzlicher Einstellhilfen. In der Regel wird ein Patient zuerst ausgerichtet und anschließend durch die Kopfhalterung in dieser Position fixiert.

Auf einfache Hilfsmittel wie Gummibänder, die über den Kopf gespannt werden, oder mit Plastikkügelchen gefüllte Gummi-Flexicast-Kissen, die durch evakuieren von Luft sich dem Kopf anformen, soll nicht näher eingegangen werden, da sie einen zu großen Bewegungsspielraum lassen.

2.1.1. Kopfhalter in Kastenform

J. E. Kish verwendet einen geleimten Holzkasten, 24x24x24cm, der nach oben und nach unten hin offen ist und durch eine Gummiunterlage rutschfest auf einen Bestrahlungstisch gestellt werden kann. Der Kopf des Patienten wird nach Einstellung der gewünschten Kopfposition mit leicht kompressiblen Keilen im Kasten eingeklemmt.

Ähnlich funktioniert die Vorrichtung, die J. Spira beschreibt. Er verwendet einen durchsichtigen Plastikkasten, dessen eine Seitenwand seitlich verschiebbar ist und in jeder gewünschten Stellung durch eine Flügelschraube befestigt werden kann. Der Kopf des Patienten kann also zwischen beide Seitenwände direkt eingeklemmt werden.

Beide Hilfsmittel haben gemeinsam, daß sie zwar eine Drehung des Kopfes unterbinden, eine Neigung bzw. Streckung jedoch nicht ausschließen. Die Beweglichkeit des Unterkiefers ist überhaupt nicht eingeschränkt. Nachteilig dürfte ebenfalls die Schwierigkeit sein, eine gewünschte Kopfposition während der Fixation beizubehalten. Zudem kann nicht ausgeschlossen werden, daß, besonders in dem Holzkasten, Angstzustände bei psychisch anfälligen Patienten auftreten.

Zusammenfassend kann man sagen, diese einfachen Vorrichtungen sind wohl besser geeignet, unruhige Patienten für kurze Zeit ruhig zu stellen. Sie wurden hauptsächlich entwickelt für die Anfertigung von Röntgenaufnahmen, weniger als Hilfsmittel bei der Strahlentherapie.

Eine etwas verbesserte Ausführung stellt. R. Pochaczevsky vor (s. Abb. 8). Sein Kasten besteht ebenfalls aus durchsichtigem Plastik und bietet als erstes den Vorteil, daß die Neigung des Bodens 4-fach verstellbar ist, wodurch bereits Einfluß auf die Lage des Kopfes genommen werden kann. Den zweiten, weitaus größeren Vorteil bildet eine zusätzliche Fixierung des Kinns, die eine Streckung des Kopfes ausschließt. Als Stütze dient ein Rundstab, der durch Bohrungen am vorderen Rand der Seitenteile in verschiedenen Höhen geschoben

werden kann. Zwischen dem Kopf des Patienten und den Seitenwänden des Kastens befindet sich je ein Luftkissen bzw. Plastikbeutel. Durch Aufblasen kann der Kopf somit seitlich fixiert werden.

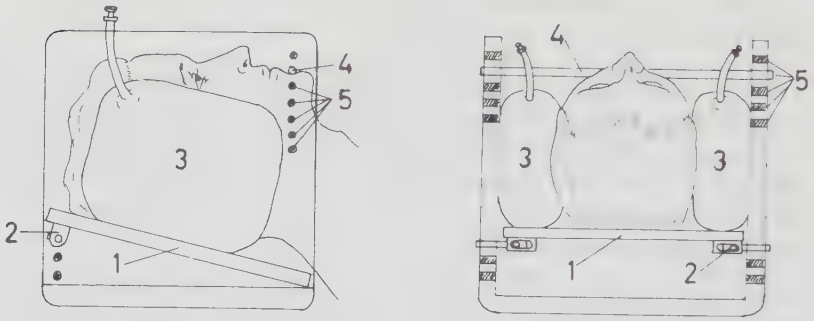


Abb.8, nach R. Pochaczevsky : 1) verstellbarer Boden
2) Verstellvorrichtung 3) Luftkissen 4) Rundstab
5) Bohrungen im Seitenteil

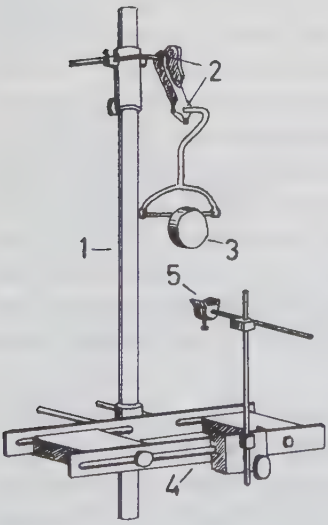
Diese Ausführung stellt sicher bereits einen Fortschritt dar, da vom Prinzip her die Bewegungsmöglichkeiten des Kopfes in alle Richtungen unterbunden werden. Inwieweit jedoch eine Fixation des Kopfes durch Luftkissen möglich ist, wäre erst zu untersuchen. Eine weitere Verbesserung könnte noch eine stufenlose Verstellmöglichkeit von Bodenplatte und Kinnstütze bringen.

Der Verfasser selbst sieht die Verwendung auf dem Gebiet der cerebralen Arteriographie. Eine Anwendung im Bereich der Strahlentherapie erscheint jedoch denkbar, da zumindest die Hauptanforderung nach Unbeweglichkeit des Kopfes erfüllt wird. Zudem läßt sich der Einfluß des verwendeten Materials auf die Dosis berücksichtigen.

2.1.2. Immobilisation durch Kopfstützen

- bei Bestrahlung im Sitzen

H. L. Berman benutzt eine Scheitel- und Kinnstütze als Hilfsmittel (s. Abb. 9). Anstelle einer Rückenlehne hat der Bestrahlungsstuhl ein Metallrohr, das bis über den Kopf des sitzenden Patienten hinausragt. Am oberen Teil dieses Rohres ist in Höhe verschiebbar die Kopfstütze eines Zahnarztstuhles befestigt. Die eigentliche Stütze, eine Platte mit ca. 5 cm Ø, kann durch 2 Kugelgelenke in alle Richtungen verstellt werden und so als Scheitelstütze dem Kopf der Patienten in jeder Position angepaßt werden. Am unteren Teil des Rohres befindet sich ein ebenfalls in der Höhe verstellbarer Rahmen. Dieser läßt sich öffnen und wird so angebracht, daß er einen sitzenden Patienten in Brusthöhe unter den Armen umfaßt und so-



1) Metallrohr
2) Kugelgelenke
3) Scheitelstütze
4) Rahmen
5) Kinnstütze

Abb. 9, nach H. L. Berman

mit den Oberkörper abstützt. Am vorderen Teil des Rahmens setzt seitlich verschiebbar die Kinnstütze an. Sie bildet eine kleine Schale, deren Form individuell abgeändert werden kann. Über einen senkrechten und waagrechten Metallstab, die über einen Metallblock beweglich verbunden sind, kann die Kinnstütze jede gewünschte Position einnehmen.

Wie H. L. Berman selbst angibt, war sein Ziel hauptsächlich, eine ungewollte Streckung bzw. Beugung von Hals und Kopf zu verhindern. Dies kann mit seiner Vorrichtung bei ein kleinwenig Mitarbeit der Patienten erreicht werden. Vorteilhaft ist auch, daß die Bestrahlungsfelder weitgehend von störendem Material freibleiben. Einer Drehung des Kopfes wird jedoch kein Widerstand entgegengesetzt.

Dieser wesentliche Mangel wird bei den nachfolgend beschriebenen Vorrichtungen behoben. Das Prinzip der Kopfhalterung des von G. Wiernik vorgestellten Behandlungsstuhles ist ähnlich. Der Behandlungsstuhl hat eine Rückenlehne, an der die verschiedenen Stützen befestigt sind. Der Kopf ruht wiederum auf einer leicht gepolsterten, in der Höhe verstellbaren Kinnstütze. Drei aus PVC gepresste Kissen von ungefähr 3 cm Durchmesser bilden eine Einheit und ersetzen die Scheitelstütze. Sie sind radiär um den Kopf des Patienten angeordnet. Jede Stütze kann einzeln in ihrem Haltearm bewegt und somit jeder Kopfform angepaßt werden. Die Haltearme enden gemeinsam an einem Kugelgelenk über dem Kopf des Patienten. Dieses Gelenk gestattet gelockert eine Bewegung von 45 ^{o} in jede Richtung. Die gesamte Einheit sitzt an einem rohrförmigen Träger, der von der Rückenlehne ausgeht und ein Heben bzw. Senken je nach Größe der Patienten erlaubt.

Durch Verwendung von 3 Kopfstützen und 1 Kinnstütze werden bei dieser Kopfhalterung die Bewegungsmöglichkeiten in alle Richtungen eingeschränkt. Eine vollständige Immobilisation erscheint denkbar, es müssen hierzu jedoch bereits 4 verschiedene Stützen genau ausgerichtet und anschließend fixiert werden. Dabei ist sehr darauf zu achten, daß keine strahlenabsorbierende Metallteile zwischen Strahlenquelle und Bestrahlungsfeld kommen.

Ein ähnliches Ergebnis erzielt die Kopfhalterung von B. Roswit (s. Abb. 10). An einem vertikalem Rohr im Rücken des Patienten befindet sich eine in der Höhe verstellbare waagrechte Querstange mit quatratischem Querschnitt. Darüber ist an jeder Seite ein Metallblock gesteckt, der seitlich verschiebbar ist und von dem horizontal ein runder Stab ausgeht. Dieser ist in der Längsrichtung verschieblich und besitzt am Ende eine Bohrung. Durch eine Schraube werden daran an jeder Seite des Kopfes ein Stirn- und Hinterhauptsbügel drehbar befestigt. Die Bügel haben hierfür an ihren Enden einen Schlitz, der eine Anpassung an verschiedene Kopfumfänge in sagitaler Richtung erlaubt. So können nach Ausrichten der beiden Metallblöcke auf die Kopfbreite die Stirn- und Hinterhauptbügel genau eingestellt und durch Anziehen der Schrauben am Rundstab fixiert werden. Falls es die Lage des Bestrahlungsfeldes erfordert, können die Stirn- durch Kinnbügel ersetzt werden. Es ist auch möglich, durch Anbringen einer aus Gips hergestellten individuellen Kinnkappe an die Stirnbügel, diese als Kinnstütze zu verwenden.

1) Querstange
2) Metallblock
3) Hinterhauptsbügel
4) Stirnbügel

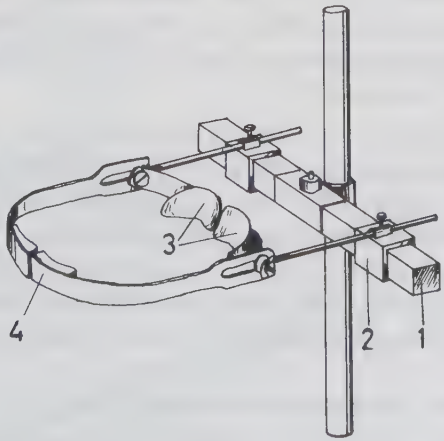


Abb. 10, modifiziert nach B. Roswit

Durch die zirkuläre Umfassung des Kopfes ist eine vollständige Immobilisation zu erreichen. Eine gewisse Einschränkung gilt für die Beweglichkeit des Unterkiefers. Es sollte jedoch möglich sein, ihn mit Hilfe eines Bandes, das an den Stirnstützen zu befestigen wäre, bei geschlossener Mundstellung am Oberkiefer zu fixieren, falls dies erforderlich ist.

Etwas abweichend von den bisher beschriebenen ist die Kopfhalterung von V. Tolpeshnikov. Sie ermöglicht, die Neigung bzw. Streckung des Kopfes nach erfolgter Immobilisation zu verändern und in jeder gewünschten Lage zu fixieren. Der sitzende Patient wird mit Gurten an die Rückenlehne des Behandlungsstuhles geschnallt. Die Immobilisation des Kopfes erfolgt durch zwei Platten, die sich in einem Metallrahmen (Kanten eines Würfels) befinden. Die untere Platte ist fest mit dem Rahmen verbunden. Das Kinn wird daraufgelegt und anschließend der Kopf am Scheitel durch die obere, verstellbare Platte, festgeklemmt. Zusätzlich wird der Kopf durch Bänder, die zwischen obere und untere Platte gespannt werden, festgehalten. Ist der Kopf auf diese Weise fixiert, kann er durch Drehung des Rahmens um ein Gelenk, ungefähr in Höhe der Articulatio atlantooccipitalis, geneigt werden. Der Bewegungsspielraum reicht von 50 ^{o} vorwärts bis 20 ^{o} rückwärts. Die gesamte Vorrichtung ist über einen Ständer am Boden verankert.

Vorgesehen ist dieser Kopfhalter als Hilfsmittel für die Pneumographie. Besonders die leichte Änderung der Neigung des Kopfes läßt jedoch seine Anwendung im Bereich der Strahlentherapie als möglich erscheinen. Eine Gradeinteilung, die die jeweilige Neigung des Kopfes angibt, wäre in diesem Zusammenhang noch sehr nützlich und könnte bereits die tägliche Reproduzierbarkeit einer Einstellung erleichtern.

- bei Bestrahlung im Liegen

Ein sehr einfaches Modell beschreibt E. N. Sargent. Auf einem sogenannten Stützbrett, das auch auf Tragen verwendet werden kann, ruht der Kopf des Patienten. Das Stützbrett ist aus Pla-

stik und wird durch das Gewicht des Patienten in seiner Lage gehalten. An zwei gegenüberliegenden Seiten ist je ein vertikaler Metallstab angeschraubt. Über ein Verbindungsstück sind daran die beiden Kopfstützen befestigt. Es handelt sich um Metallplatten, auf die große runde Schaumgummischwämme geklebt sind. Durch Aufdrehen von zwei Flügelschrauben an den Verbindungsstücken können die Kopfstützen vertikal und horizontal ausgerichtet werden. Liegt der Patient auf dem Hinterkopf, so wird er seitlich festgeklemmt. Liegt er auf der Seite, so setzt eine Stütze an der Stirn, die andere am Hinterkopf an.

Eine Weiterentwicklung dieser Vorrichtung stellt P. R. Reddi vor (s. Abb. 11). Das Grundprinzip bleibt erhalten. Auf einer hölzernen Grundplatte befinden sich die beiden Kopfklammern,

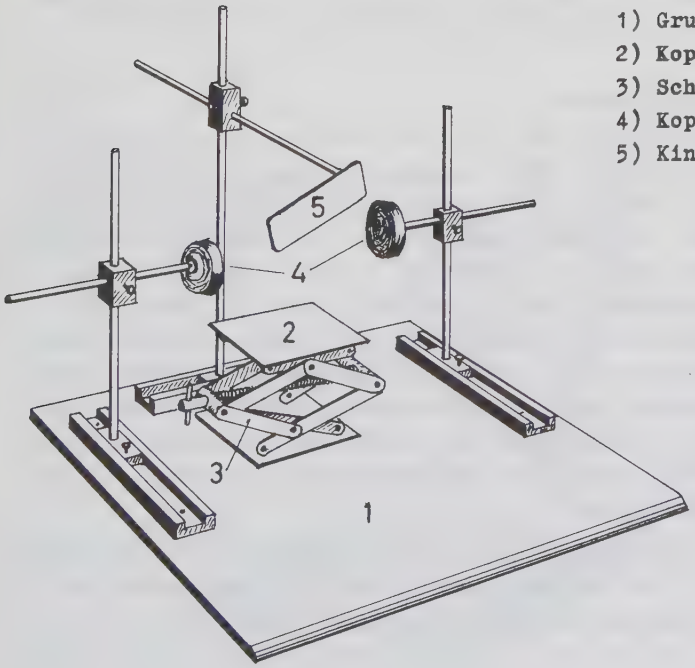


Abb. 11, modifiziert nach P. R. Reddi

die die Occipitalregion abstützen. Sie sind jedoch zusätzlich in Längsrichtung verschiebbar. Der Kopf ruht nicht mehr direkt auf der Grundplatte, sondern auf einer leicht gepolsterten Kopfstütze. Diese kann mit Hilfe eines Scherengitters gehoben und gesenkt werden, was ermöglicht, die Wirbelsäule in gestreckte Lage zu bringen. Als zusätztliches Hilfsmittel ist auf der Grundplatte, ähnlich den Kopfklammern, ein Kinnhalter angebracht. Er wird nach Einstellen der Lage des Kopfes an das Kinn angepaßt und verhindert so ungewollte Streckungen.

Das Grundmodell ist nur als Vorstufe aufzufassen, da Bewegungen nur in einer Ebene eingeschränkt werden. Die Weiterentwicklung bietet neben besserer Immobilisation den Vorteil, auf die Lage des Halsmarks Einfluß zu nehmen, was bei Bestrahlungen in diesem Bereich von großer Wichtigkeit ist. Eine Verwendung dieses Hilfsmittels ist deshalb bei einigen Bestrahlungsarten von großem Nutzen.

2.1.3. Zusammenfassung

Auf die wesentlichen Vor- und Nachteile der einzelnen Kopfhalterungen wurde bereits eingegangen. Gemeinsam ist ihnen allen, daß versucht wird den Kopf einzuklemmen, um Bewegungen zu verhindern. Dabei ist zu bedenken, daß dies nur durch Kräfte geschehen kann, die im Höchstfall bei den Patienten ein leichtes Druckgefühl, auf keinen Fall aber ein Schmerzgefühl erzeugen dürfen. Hinzu kommt, daß die Stützen nicht an genau definierbaren Punkten, sondern an Weichteilen ansetzen, die mehr oder weniger auf ihrer Knochenunterlage verschoben werden können. Dies alles bedingt ein kleinwenig Mitarbeit des Patienten, die jedoch auch bei anderen Vorrichtungen kaum entbehrlich sein dürfte.

Der Einsatz von Geräten, die eine vollständige Immobilisation ermöglichen, ist sicher lohnend, zumal der Zeitaufwand für die Einstellung nur unwesentlich vergrößert wird.

2.2. Immobilisation mit reproduzierbarer Lagerung

2.2.1. Immobilisation bezogen auf den äußeren Gehörgang

In mehreren Veröffentlichungen (H. B. Latourette, K. F. Lee, Y. H. Son, R. Perez-Tamayo) wird das Problem der Immobilisation auf dieselbe Weise gelöst. Ohrstöpsel, die in den äußeren Gehörgang gesteckt werden, und eine zusätzliche Stütze, die am Nasenrücken oder Kinn ansetzt, sollen den Kopf in seiner Lage halten.

Von den bekannten Vorrichtungen soll die Kopfhalterung von R. Perez-Tamayo näher beschrieben werden, da mit ihr, durch ein auf die meatus - orbital - Linie bezogenes Koordinatensystem, auch eine Reproduktion der Einstellung zu erreichen ist.

- Aufbau

Den Aufbau der eigentlichen Kopfhalterung zeigt die Abb. 12.

1) Ständer
2) Winkel
3) Schwenkbügel
4) Ohrstöpsel mit Armen
5) Nasenrückenbügel

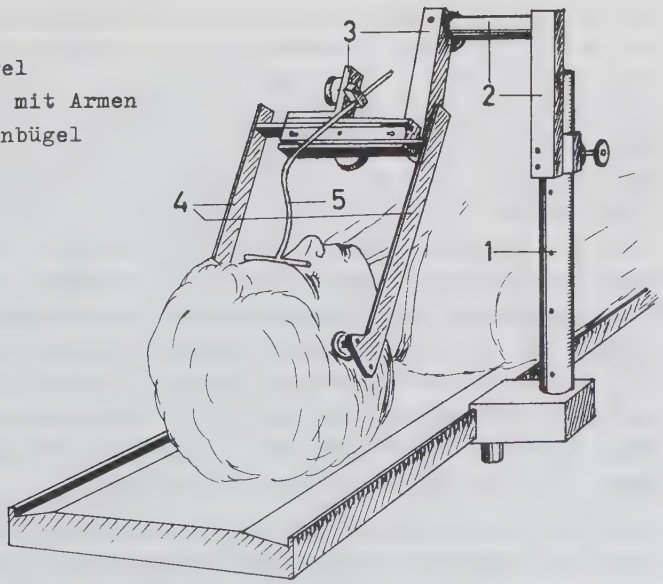


Abb. 12, modifiziert nach R. Perez-Tamayo

An der Seite des Bestrahlungstisches wird mit einer Klemme der in Längsrichtung verschiebbare, senkrechte Ständer gehalten. Über einen in der Höhe verstellbaren Winkel wird daran der Schwenkbügel befestigt, der um 360 ° drehbar ist. Alle diese Einstellungen können stufenlos erfolgen und mittels Skalierungen reproduziert werden. Am Schwenkbügel setzen die Arme der Ohrstöpsel, deren Abstand der Breite eines Patientenkopfes entsprechend variiert werden kann, und der Kinn- bzw. Nasenrückenbügel, an. Mit Ausnahme der Plastikarme für die Ohrstöpsel bestehen die übrigen Teile aus Metall.

- Anwendung

Bei der Anwendung ist zu unterscheiden, ob bei der Bestrahlung die Streckung des Kopfes von Bedeutung ist oder nicht. Bei der lateralen Bestrahlung eines Gehirntumors, spielt die Streckung des Kopfes keine Rolle. Der Patient legt sich mit dem Hinterkopf auf den Bestrahlungstisch. Durch Lockerung der Sperren können Ohrstöpsel in Höhe der äußeren Gehörgänge gebracht und mit leichten Druck eingeführt werden. Nach Anziehen der Sperren kann eine Bewegung des Kopfes nur noch um eine horizontale Achse (Verbindung der äußeren Gehörgänge) erfolgen. Diese Drehung wird durch Anbringen von Kinn- bzw. Nasenrückenstütze verhindert. Nach so erfolgter vollständiger Immobilisation kann mit der Reproduktion der Einstellung begonnen werden. Als Hilfsmittel dient ein Plastikgitter, um die durch die Gehörgänge verlaufende Achse drehbar, an einem Haltearm der Ohrstöpsel befestigt wird. Das Gitter dient als Koordinatensystem, dessen Nullpunkt mit dem äußeren Gehörgang zusammenfällt. Es wird solange gedreht, bis eine Null - Linie sich mit der immer konstanten meatus - orbital - Linie deckt. Über zwei Koordinaten, die von der Lokalisation her bekannt sind, kann nun das Zentrum des Feldes genau bestimmt werden. Darauf wird der Zentralstrahl ausgerichtet.

Spielt die Streckung eine Rolle, so werden die Ohrstöpsel, durch die von der Lokalisation her bekannten Einstellwerte der Kopfhalterung, zuerst in die richtige Lage zum Bestrahlungs-

tisch gebracht. Anschließend wird der Kopf des Patienten so ausgerichtet, daß die Ohrstöpsel in den äußeren Gehörgang eingeführt werden können. Der Kopf des Patienten wird dabei in der Regel (der Hinterkopf stellt keine Kreisbahn mit der Gehörgangsachse als Mittelpunkt dar) mit derselben Fläche auf dem Bestrahlungstisch liegen, was eine mit der Lokalisation identische Streckung bedingt. Die Kinn- bzw. Nasenrückenstütze wird zur Stabilisierung der Position angebracht.

- Ergebnis

Bereits die Ohrstöpsel, deren individuelle Anfertigung denkbar wäre, erlauben lediglich eine Bewegung um eine Achse, die durch die zusätzliche Stütze unterbunden wird. Auf diese Weise ist es möglich, ohne große Kraft aufzuwenden, eine vollständige Immobilisation zu erreichen.

Was die Reproduzierbarkeit betrifft, so stellt der Bezug des Feldzentrums zur meatus - orbital - Linie, wie im ersten Fall beschrieben, eine Lösungsmöglichkeit dar. Als Hilfsmittel muß jedoch z. B. ein den Zentralstrahl darstellendes Lichtvisier vorhanden sein.

Im zweiten Fall wird erreicht, daß der Patient jeweils in derselben Position auf dem Bestrahlungstisch liegt. Für das Ausrichten der Gehörgänge auf die Ohrstöpsel kann es jedoch erforderlich werden, daß der ganze Körper des Patienten auf dem Bestrahlungstisch herumgezogen werden muß.

Für die Reproduktion der Feldeinstellung kann bei lateraler Bestrahlung wiederum der Bezug zur meatus - orbital - Linie herangezogen werden. Andere Möglichkeiten bieten die im Teil II, 1 beschriebenen Einstellhilfen. Da die Lagerung auf dem Bestrahlungstisch ja immer identisch ist, kann es auch möglich sein, ihn nach bekannten Werten der Strahlenquelle gegenüber auszurichten.

2.2.2. Kopfabdruck durch Gußverfahren

- Methode

Unabhängig vom jeweiligen Gußmaterial wird für den Guß eine Schalung benötigt, in die der Kopf gelegt wird. Die Schalung ist ca. 15 cm hoch und reicht wie ein Rahmen von Schulter zu Schulter um den Kopf herum. Bei der Lagerung des Patienten ist darauf zu achten, daß die Schalung möglichst an den Schultern des Patienten anliegt, damit nicht zuviel Gußmasse entweichen kann. Anschließend wird der Kopf in die gewünschte Stellung ausgerichtet und der Raum zwischen Schalung und Kopf ausgegossen. Nach Erhärten der Gußmasse wird die Schalung entfernt. Das Ergebnis ist ein Abdruck von Hinterkopf und Hals des Patienten, der ungefähr bis in Ohrhöhe reicht. Um die Lage des Abdruckes vom Lokalisationstisch auf den Bestrahlungstisch übertragen zu können, kann man sich mehrerer Metallstifte bedienen (R. J. Johnson). Sie werden vor dem Guß innerhalb der Schalung so in Bohrungen des Lokalisationstisches gesteckt, daß sie vom Gußmaterial umschlossen werden und aus dem späteren Boden des Abdruckes ragen. Die Anordnung der Bohrungen ist dabei auf dem Lokalisationstisch dieselbe wie auf dem Bestrahlungstisch, so daß die Metallstifte genau in die Bohrungen des Bestrahlungstisches passen. Der Abdruck, und damit der Kopf-Hals- Bereich des Patienten, kann so auch bei Bestrahlung identisch auf dem Bestrahlungstisch gelagert werden.

- Gußmaterial : Polyurethanschaum, Gipsmischung

Polyurethanschaum (P. F. Combes, F. Krispel) entsteht aus zwei flüssigen Komponenten, (im Handel sind auch andere Produkte erhältlich) die gemischt und dann in die Schalung gegossen werden. Nach kurzer Zeit beginnt die Reaktion der beiden Komponenten und es bildet sich der Polyurethanschaum, dessen Volumen ca. 35 mal so groß ist wie das der Flüssigkeit. Bei der Anwendung ist es unbedingt erforderlich, sämtliche mit dem Schaum in Berührung kommende Körperteile durch eine Polyäthylenfolie zu schützen, da Hautkontakt während dem Schäumen zu Ver-

ätzungen führen kann. Außerdem empfiehlt sich ein Auslegen der Schalung mit dieser Folie, um ein Ankleben des Schaumes zu verhindern. Wichtig ist zudem eine gute Lüftung bei der Anwendung, da bei der Reaktion der beiden Komponenten giftige Dämpfe entstehen. Bis der Schaum erhärtet und nicht mehr klebrig ist, bedarf es einer Zeit von ca. 10 Minuten.

Eine Gipsmischung (R. J. Johnson) stellt keine Gefahr für die Gesundheit der Patienten dar. Als störend könnte lediglich eine Erwärmung während des Abbindens empfunden werden. Als Schutzmaßnahme ist es erforderlich über die Haare eine Plastikhaube zu stülpen, um ein Verkleben mit dem Gips zu vermeiden. Für die Schalung und die Tischplatte empfiehlt sich ein Überzug aus Plastik, um das Ablösen des fertigen Abdruckes zu erleichtern. Wichtig ist ein richtiges Mischungsverhältnis von Pulver zu Flüssigkeit und das Vorbereiten der Mischung im ganzen.." Plaster of Paris " ist eine mögliche Mischung, die im Verhältnis 5 : 3, Pulver zu Flüssigkeit, zubereitet wird. Das Abbinden dauert ca. 10 Minuten und der Zeitaufwand für einen Kopfabdruck beträgt ca. 20 Minuten.

- Ergebnis

Man erhält einen Abdruck, der Bewegungen ausschließen und eine Reproduktion der Lagerung ermöglichen soll. Der Erfolg hiervon hängt jedoch sehr stark von der Genauigkeit des Abdruckes ab. Durch Bewegungen des Patienten während der plastischen Phase der Abdruckmaterialien (eigene Versuche zeigten, daß leichte Bewegungen während der langen Zeit des Erhärtens fast nicht auszuschließen sind) leidet die Paßgenauigkeit und damit im geringen Maß die vollständige Immobilisation und Reproduktion.

In der Praxis dürfte zudem der relativ große Zeitaufwand von 20 Minuten für die Herstellung eines Abdruckes im Lokalisationsraum zu groß sein. Dies bedeutet, daß der Abdruck in einem anderen Raum erfolgen müßte, wo nicht die Möglichkeit besteht, unter Durchleuchtungskontrolle den Patienten in die für die Bestrah-

lung geeignetste Position auszurichten.

Erwähnt werden sollte noch, daß es möglich ist auf beiden Materialien Markierungen anzubringen. Bei der Wahl eines Materials spielt sicher die mögliche Gefährdung durch den Polyurethanschaum eine Rolle. Er bietet jedoch dafür den Vorteil, daß er bei ausreichender Härte eine so geringe Dichte besitzt, daß er einen wesentlich kleineren Einfluß als Gips auf die Strahlendosis ausübt.

Eine Reproduktion der Feldeinstellung ist wiederum durch Einstellhilfen oder eine bekannte Einstellung des Tisches gegenüber der Strahlenquelle zu erreichen.

2.2.3. Kopfmasken

Gemeinsam ist allen Masken, daß sie einen Abdruck von Teilen der vorderen Kopfhälfte darstellen. Unterschiede bestehen in der jeweiligen Ausdehnung, dem verwendeten Material und der Befestigung der Masken an Bezugspunkten. Zu unterscheiden ist außerdem die direkte und indirekte Herstellungsmethode.

- Gipsmaske

Zur Herstellung der Masken werden allgemein Gipsbinden verwendet (A. L. Goldson, W. E. Mallion, R. A. Morrison). Um ein Verkleben der Haare zu vermeiden, empfiehlt es sich sie durch eine Plastikhaube zu schützen. Bei der von R. A. Morrison beschriebenen Methode wird in die Maske direkt eine Kopfstütze mit eingeschlossen. Die Kopfstütze ist in drei verschiedenen Höhen vorhanden und kann in der Neigung stufenlos verstellt werden. Ihr Ständer hat quatratischen Querschnitt und kann in die dazu passenden Schächte im Abdruckraum, Lokalisations- oder Therapietisch gesteckt werden. Bei der Herstellung der Maske ruht der Hinterkopf in der gewünschten Bestrahlungsposition auf der passend eingestellten Stütze. Die mit Harz getränkten Gipsbinden (Plaster of Paris Bandages) werden so um den ganzen Kopf gewickelt, daß die Stütze mit eingeschlossen wird. Es entsteht eine vollständige Kopfmaske, die nach dem Erhärten zick-

zack-förmig aufgeschnitten werden muß, wobei zwei Schalen entstehen. Die untere Schale enthält die Kopfstütze, die obere Schale stellte einen Abdruck des Gesichtes dar. Falls erforderlich können Augen, Nase und Mund ausgeschnitten werden. Durch die Zick - Zack - Schnittführung und Anbringen von Verschlüssen ist es möglich, die beiden Schalen genau zu reponieren. Bei der Bestrahlung liegt der Kopf des Patienten in der unteren Schale und wird durch die obere fixiert.

- Lightcast - Masken

" Lightcast ", das A. D. Beal, B. S. Lewinsky und G. R. Ridings anwenden, ist eigentlich ein orthopädisches Abdruckmaterial. Es ist ein weit gewebtes, flexibles Fiberglasband, das mit einem lichtempfindlichen Harz getränkt ist und unter Aussetzung von UV - Licht (350 - 390 nm) erstarrt. Im Handel sind die Bänder in verschiedenen Breiten in geschlossenen Behältern (weiches Material gibt Vinyl - Toluol - Dampf ab) zu bekommen. Mit dem weichen Material in Kontakt kommende Hautpartien müssen mit einer Silikoncreme eingerieben werden. Augen und Haare werden mit Paraffin - Mull abgedeckt. Nach so erfolgter Vorbereitung wird der Patient ausgerichtet und die Herstellung der Gesichtsmaske (Abb. 13, s. nächste Seite) kann beginnen. Die weichen Bänder werden leicht überlappend von oben nach unten über das Gesicht und den Hals des Patienten gelegt und die Enden auf die Unterlage umgebogen. Eine Möglichkeit der Befestigung besteht nun darin, die umgebogenen Enden zu durchbohren und mittels Flügelschrauben an genau bestimmten Punkten des Bestrahlungstisches (Bohrungen, in die Gewinde eingeschnitten sind) bzw. speziellen Kopfbrettern zu befestigen. Durch leichtes Andrücken der Bänder erreicht man guten Halt untereinander und scharfe Abformung aller Konturen. Anschließend wird die noch weiche Maske UV - Licht ausgesetzt um zu erhärten. Dies dauert bei einer Gesichts- Hals- Maske ca. 5 Minuten. Erhärtet läßt sich die Maske mit einem Blechschneider oder einer Säge bearbeiten. So kann man nachträglich Mund- und Nasenöffnungen anbringen und, falls der Abdruck über dem Bestrahlungsfeld zu dick ist, dieses ausschneiden. Dabei entstehende scharfe Kanten können

rundgefeilt werden. Unter Verwendung von Lightcast - Harz ist es auch möglich, Markierungen an der Maske anzubringen.

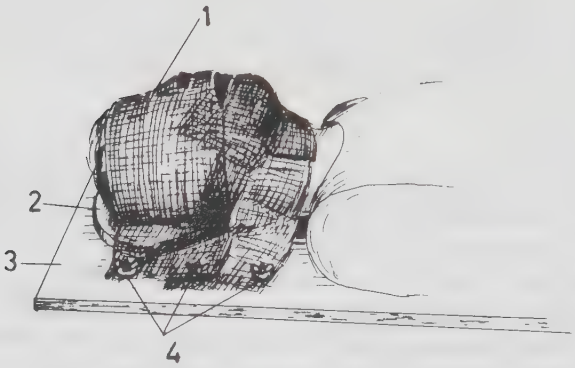


Abb. 13, modifiziert nach B. S. Lewinsky : 1) Lightcast - Maske 2) Kopfbrett 3) Therapietisch 4) Flügelschrauben

- Thermoplastische Masken

R. J. Barish verwendet " Aquaplast ", ein " Low temperature sphint/brace material ", das von einem Polymer unter dem Handelsnamen PCL - 700 hergeleitet wird. Erhältlich ist das Material in Platten von verschiedener Größe und Stärke. Im Wasserbad von 60 - 80 ^{o} C erweicht es von seiner sonst festen und starren Struktur . Sobald es durchsichtig wird, kann es verarbeitet werden. Die Masken werden wie bei der Verwendung von " Lightcast " gebildet. Durch eine leichte Klebrigkeit des Materials im weichen Zustand wird es während dem Formen der Maske an seinem Platz gehalten. Ein Schutz von Haut und Haaren ist nicht erforderlich, da es völlig unschädlich ist und beim Erhärten zu sich selbst abbindet, wobei es sich auch von Haaren löst. Verarbeitet werden kann Aquaplast ca. 5 - 7 Minuten.

- Maskenherstellung über einen Abdruck

Im Gegensatz zu den bisherigen Kopfmasken, die direkt hergestellt wurden, beschreibt E. D. Van Arsdale die Anfertigung in einer Vacuummaschine über einen Abdruck. Der Patient liegt auf dem Rücken mit dem Kopf auf einem in der Neigung variierbaren Kopfbrett. Nachdem die richtige Lagerung erreicht und die Haare mit einer Gummibademütze abgedeckt sind, wird Alginat über Kopf und Hals gestrichen. Dabei ist wichtig, das richtige Mischungsverhältnis von Pulver zu Wasser zu beachten und das Alginat zügig zu verarbeiten, wobei die Nasenöffnungen frei bleiben müssen. Um den Alginatabdruck zu stabilisieren, werden darüber drei Schichten Gipsbinden gelegt und leicht angedrückt. Nach ca. 10 Minuten wird der Alginat - Gipsabdruck, die Negativform, abgenommen und sofort mit Petroleum - Gel von innen bestrichen, um später die Trennung von der Positivform zu erleichtern. Anschließend muß die Negativform, wegen der Schrumpfung des Alginats, sofort mit " Plaster of Paris " ausgegossen werden, bis eine Stärke von ca. 3 cm erreicht ist. Nach 40 Minuten ist der Gips fest, der Abdruck wird entfernt und die Positivform mit Papier ausgefüllt bis die Rückseite eben ist. In einer Vacuummaschine wird dann über der Positivform aus einer Cellulose - Acetat - Butyrat - Platte die eigentliche Kunststoffmaske hergestellt. Sie ist durchsichtig und mit Hilfe eines elektrischen Lötinstrumentes mit flacher Spitze können Teile ausgeschnitten werden. Über das Gesicht des Patienten gelegt, wird die Maske mit Cellulose - Acetat - Streifen an dem Kopfbrett befestigt, wobei Aceton als Bindemittel dient.

- Ergebnis

Es unterscheidet sich nur wenig bei den einzelnen Masken. Entweder durch die mit eingeschlossene Kopfstütze oder genau bestimmte Fixierungspunkten, können Masken in reproduzierbarer Lage am Bestrahlungstisch oder speziellen Kopfbrettern angebracht werden. Ebenso erfolgt die Übertragung von der Lokalisation.

Die Reproduzierbarkeit der Lagerung auf dem Bestrahlungstisch,

und die Immobilisation von Kopf und Hals während einer Bestrahlung, hängt wiederum hauptsächlich von den Bewegungsmöglichkeiten unter der Maske, d.h. der Paßgenauigkeit ab. Der Zeitaufwand bedingt ähnliche Nachteile wie bei dem Gußverfahren. Besonders aufwendig ist das indirekte Herstellungsverfahren, auch in Bezug auf die Kosten. Unterschiede der einzelnen Materialien wirken sich hauptsächlich bei der Vorbereitung der Patienten aus. Am günstigsten sind in dieser Beziehung die thermoplastischen Masken, deren Verarbeitung auch am einfachsten erscheint. In der Stabilität dürften die anderen Masken jedoch etwas besser sein.

Die Einstellung der Bestrahlungsfelder kann wie bei dem Gußverfahren erfolgen.

2.2.4. Kopfhalterung über Gebißabdruck

Im Gegensatz zu anderen Kopfhalterungen nutzen L. H. Hauskins, C. J. Karzmark und R. Keiling die Konstanz des menschlichen Gebißes als Bezugssystem für Lagerung und Immobilisation. Über einen Gebißabdruck wird dabei der Patient an einer Haltevorrichtung des Bestrahlungstisches fixiert.

Als Abdruckmaterial dient ein Block aus thermoplastischer Masse (C. J. Karzmark), in den ein abgeplatteter Rundstab eingesteckt ist. Die Abdrucknahme erfolgt, indem der Patient in den in warmen Wasser erweichten Block einbeißt und diese Bißstellung beibehält, bis der Abdruck nach ca. 1 Minute erhärtet ist. Mit drei weiteren über Gelenke verbundene Rundstäbe erhält der Abdruck einen in zwei Ebenen verstellbaren Stiel. Der Stiel des Abdruckes wird an der Haltevorrichtung des Bestrahlungstisches in einen Metallblock gesteckt und festgeschraubt, der über zwei kräftige Metallrohre waagrecht in Längsrichtung des Tisches gleiten kann. Die gesamte Vorrichtung kann wiederum über zwei Metallrohre in der Senkrechten verstellt werden.

Die Anwendung erfolgt folgendermaßen : Der Patient beißt in seinen Abdruck und wird bei gelockerten Gelenken des Abdruckstiels in der gewünschten Bestrahlungsposition ausgerichtet.

Anschließend werden die Gelenke angezogen und die Einstellwerte der Haltevorrichtung in der Senkrechten und in Längsrichtung notiert.

Da jeder Patient einen eigenen Abdruck mit Stiel hat, muß bei den folgenden Bestrahlungen lediglich die Haltevorrichtung eingestellt werden.

- Ergebnis

Die hier vorgestellte Kopfhalterung erlaubt dank der Konstanz des menschlichen Gebißes, und der dadurch eindeutigen Reponierbarkeit der Abdrücke, sehr gute Ergebnisse bezüglich Reproduktion der Lagerung und Immobilisation zu erzielen.

Problematisch könnten jedoch beim beschriebenen Gerät der Metallblock und die waagrechten Metallrohre werden, falls sie bei vertikaler Bestrahlung im Strahlenbündel liegen. Andererseits könnte eine Beweglichkeit des Abdruckstiels in alle Richtungen und eine Querverschieblichkeit der Haltevorrichtung von Vorteil sein. Näher wird auf diese Punkte und die Schwierigkeiten bei Abdrücken im nicht vollbezahntem Gebiß bei der im Teil III beschriebenen eigenen Entwicklung, die auf demselben Prinzip beruht, eingegangen.

2.2.5. Zusammenfassung

Die vorausgegangenen Beschreibungen zeigen, daß es mehrere Methoden gibt, um die Schwierigkeiten der reproduzierbaren Lagerung und der Immobilisation während der Bestrahlung zu verringern. Für die Feldeinstellung müssen entweder zusätzliche Einstellhilfen verwendet werden oder eine feste Beziehung zwischen Bestrahlungstisch und Strahlenquelle bestehen. Im letzten Fall muß die Lagerung nicht nur in derselben Stellung (z. B. Streckung des Halses) erfolgen, sondern der Patient muß auf einem genau bestimmten Punkt des Bestrahlungstisches liegen, was ein Bewegen des ganzen Patienten beim Ausrichten erfordern kann. Alle Vorrichtungen bieten außerdem die Möglichkeit, die Lagerung vom Lokalisationstisch auf den Therapietisch zu übertragen.

Bezüglich des Aufwandes bestehen jedoch große Unterschiede. Während z. B. ein Gebißabdruck in ca. 3 Minuten anzufertigen ist, werden für einige andere Verfahren 20 Minuten und mehr benötigt. Der Gebißabdruck in Verbindung mit der Haltevorrichtung erlaubt zudem die geeignetste Lagerung unter Röntgenkontrolle im Lokalisationsraum zu fixieren. Auch für die Aufbewahrung dieser Abdrücke besteht lediglich ein geringer Platzbedarf. Bei der Frage nach den Kosten dürfte von den individuellen Hilfsmitteln diese Methode wiederum sehr günstig liegen. Bewußt steht hier die Präzision der einzelnen Hilfsmittel an letzter Stelle, da von den meisten Kopfhalterungen hierüber keine auf Untersuchungen beruhende Ergebnisse vorliegen. Es kann jedoch angenommen werden, daß zumindest bei vollbezahntem Gebiß, dieses einen besseren Bezug bietet, als die Weichteile, deren sich andere Geräte bedienen.

III. EIGENE WEITERENTWICKLUNG

1. Zielsetzung

Es sollte ein Hilfsmittel entwickelt bzw. verbessert werden, welches die reproduzierbare Lagerung und Immobilisation im Kopf- Hals- Bereich erleichtert und ermöglicht, exakt gemäß der Planung zu bestrahlen. Dabei sollten möglichst alle der Anforderungen an Kopfhalterungen (siehe I.3.) erfüllt werden.

Wie aus den vorausgegangenen Teilen der Arbeit hervorgeht, erscheint dem Verfasser die Anwendung einer Kopfhalterung über Gebißabdrücke hierfür am besten geeignet. Versuche mit einer einfachen Vorrichtung, die dieses Prinzip nutzt, und anderen Methoden, wie Kopfabdruck durch Gußverfahren und Kopfmasken, haben diese Entscheidung bestätigt.

Erwähnt sei an dieser Stelle, daß die Idee, sich des Gebisses zu bedienen, auf eine Veröffentlichung von W. Wiedemann zurückgeht, der mit Hilfe eines Gebißabdruckes reproduzierbare Photographien von Frontzähnen und der Gingiva herstellt. Dies, und die später in der Literatur gefundene Veröffentlichung von C. J. Karzmark bilden die Grundlagen der im folgenden beschriebenen Weiterentwicklung.

Großer Wert wird dabei auf eine leichte Handhabung gelegt, sowie die Möglichkeit, die Kopfhalterung bei allen Bestrahlungstechniken nutzen zu können, unabhängig auch von den Gebißverhältnissen der Patienten. Die verschiedenen beschriebenen Abdrucklöffel und Abdruckmassen bieten Lösungen der damit verbundenen Probleme.

2. Aufbau des Gerätes

Den Gesamtaufbau des Gerätes zeigt die Abb. 14

Am Kopfteil des Lokalisations- und Bestrahlungstisches sind an identischen Stellen Buchsen mit Gewinden in einem Abstand

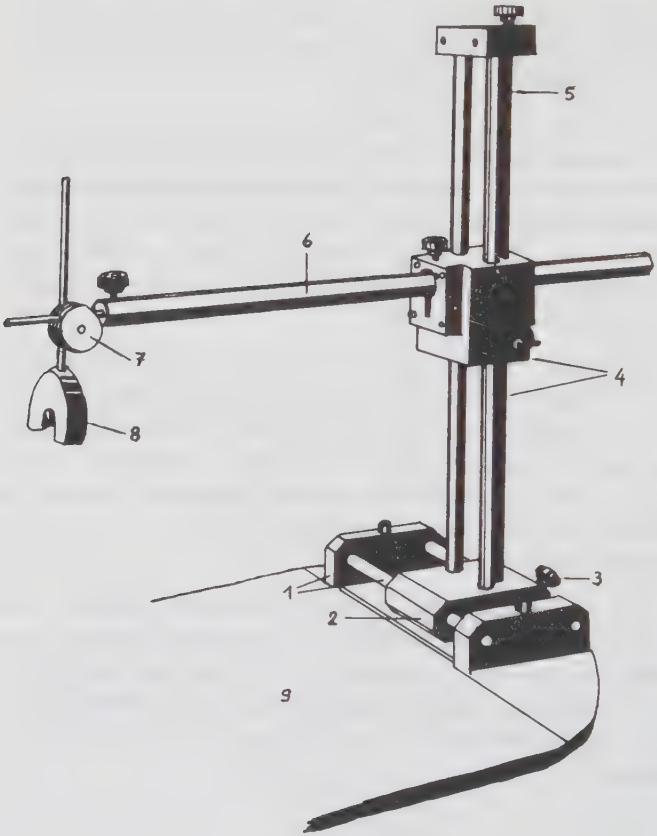


Abb. 14, 1) Fußteil 2) Metallblock 3) Feststellschraube 4) Vertikale Verstellvorrichtung 5) Spindel 6) 6-kant-Stab 7) individuelles Gelenk 8) Gebißabdruck 9) Bestrahlungstisch

von 19,6 cm eingesetzt, woran der Fußteil des Gerätes mittels zweier Imbusschrauben befestigt werden kann. Dieser besteht aus zwei Metallblöcken (10 x 2 x 3,5 cm), die durch zwei Rundstäbe (Ø 1,2 cm, Länge 17,6 cm) verbunden werden. Über diesen Stäben gleitet ein weiterer Metallblock (10 x 7 x 3 cm), dessen 2 Bohrungen genau dem Durchmesser der Stäbe entsprechen. Auf diese Weise ist eine Querverschiebung der Halterung um 10,6 cm möglich. Zur Fixation in gewünschter Stellung dient eine Schraube mit großem Kunststoffkopf, die, in eine Bohrung des Metallblockes gedreht, auf den hinteren Rundstab drückt, und so eine Seitverschiebung verhindert.

Aus dem Metallblock treten senkrecht nach oben zwei Rundstäbe (Ø 1,2 cm) und eine Spindel (Ganghöhe 0,1 cm, Ø 0,6 cm) von je 34 cm Länge aus. Den oberen Abschluß bildet eine Metallplatte (4 x 7 x 1 cm) aus der ein Kunststoffkopf ragt, womit die Spindel gedreht werden kann. Wie beim Fußteil gleitet über diese Stäbe ein Metallblock (5 x 7 x 7 cm), nun jedoch vertikal. Durch Drehen der Spindel kann der Metallblock in jede gewünschte Höhe, die an einer Skala des Rundstabes ablesbar ist, eingestellt werden. Um ein schnelles Grobeinstellen der Höhe zu ermöglichen, befindet sich an der Rückseite ein Sperrhebel. Dreht man diesen, wird die Spindel ausgerastet, und der Metallblock kann von Hand auf und ab bewegt werden. Läßt man den Sperrhebel los, wird er durch eine Feder sofort wieder in seine Ausgangslage gezogen und die Spindel rastet gleichzeitig ein. Diese Vorrichtung verhindert, daß es bei unsachgemäßer Nutzung zu Verletzungen kommen kann.

Den waagrechten Teil des Gerätes, der der Längsverschiebung dient, bildet ein 6 - Kant - Stab von 42,5 cm Länge und 1,7 cm Stärke. Dieser läuft durch den Metallblock. Gelagert ist er auf je drei Rollen, die an der Vorder- und Rückseite mit einer Metallplatte (1 x 5 x 5 cm) angeschraubt sind. Dies ermöglicht ein spiel- und ruckfreies Verschieben. Die Fixation erfolgt wie beim Fußteil über eine Schraube mit großem Kunststoffkopf. Am vorderen Ende hat der 6 - Kant - Stab eine Bohrung von 0,6 cm Ø und 7 cm Tiefe, deren letzte 2 cm konisch zulaufen, und die

Feststellschraube bekannter Art. Diese Bohrung hat die Aufgabe, den Gebißabdruck mit individuell fixiertem Gelenk über den Verbindungsstab aufzunehmen. Der Verbindungsstab (Ø 0,6 cm, 13 cm Länge) ist durch eine Scheibe unterteilt. Der Teil welcher in die Bohrung des 6 - Kant - Stabes paßt, ist deren Tiefe entsprechend lang und an einer Seite abgeflacht. So hat man eine Kontrolle, wie tief der Stab eingeführt ist. Den Aufbau des Gelenkes, das den Abdrucklöffel mit dem Verbindungsstab vereinigt, zeigt die Abb. 15. Es besteht aus einer Imbusschraube, einer Beilagscheibe, zwei Messingscheiben (Ø 3 cm, Stärke 0,7 cm), mit je einer dem Schraubendurchmesser entspre-

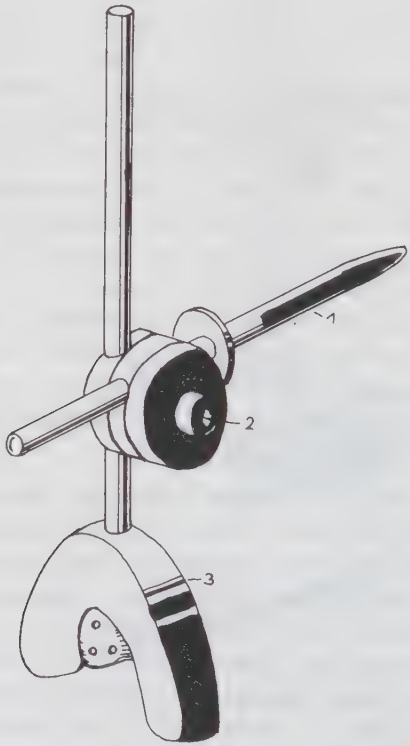


Abb. 15, 1) Verbindungsstab 2) individuell fixierbares Gelenk 3) Gebißabdruck

chenden Bohrung im Zentrum, und einer Messingscheibe (Ø 3 cm, Stärke 0,5 cm), in deren Mitte sich ein der Imbusschraube entsprechendes Gewinde befindet. Quer durch die beiden starken Scheiben verläuft ca. 1 cm vom Zentrum entfernt je eine Bohrung von 0,6 cm Durchmesser, die jedoch mehr an einer Flachseite liegen, so daß sie der Länge nach 0,3 cm breit offen sind. Diese Bohrungen dienen der Aufnahme des Löffelstiels und des Verbindungsstabes. Zusammengesetzt wird das Gelenk in der Weise, daß man auf die Imbusschraube zuerst die Beilagscheibe und dann die beiden starken Messingscheiben, mit den Bohrungen vom Schraubenkopf abgewandt, steckt. Schließlich wird die dünne Messingscheibe aufgeschraubt. Steckt man Verbindungsstab und Löffelstiel in die entsprechenden Bohrungen, ragen sie leicht aus den planen Scheiben heraus und haben mit den benachbarten Scheiben Kontakt.

Zieht man die Imbusschrauben an, werden alle Scheiben und Stäbe zusammengepreßt, wodurch eine vollständige Fixation erreicht wird. Gelockert, erlaubt dieses Gelenk den Abdrucklöffel in jede gewünschte Lage auszurichten und um seine eigene Achse zu drehen.

2.1. Abdrucklöffel

Sie stellen die eigentliche Verbindung zwischen Patient und Halterung dar, wobei sie folgenden Anforderungen genügen müssen. Die Löffel müssen von ausreichender Stabilität sein, dürfen jedoch dabei die Strahlendosis nicht beeinflussen. Zudem muß eine gute Haftung des Abdruckmaterials auf dem Löffel gewährleistet sein, und der Löffel, je nach den individuellen Anforderungen, in verschiedenen Größen zur Verfügung stehen.

Nach Versuchen entschieden wir uns für perforierte Plastikabdrucklöffel des Oberkiefers, wie sie in der Zahnmedizin verwendet werden. Durch die Anpassung dieser Löffel an den Gaumen, wird die Zunge in ihrer Bewegungsfreiheit nicht wesentlich eingeschränkt. Für unsere Zwecke sind nur leichte Veränderungen der käuflichen Löffel notwendig. An Stelle des handelsüblichen Halters, der an den Löffel gesteckt wird, kleben

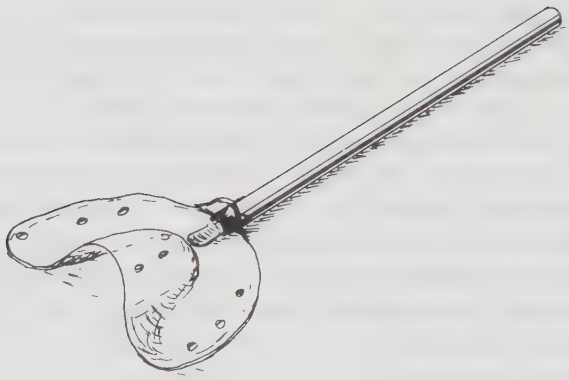


Abb. 16

wir einen Messingstab (0,6 cm Ø, 15 cm Länge), der zu unserem individuell einstellbaren Gelenk paßt, mit seinem abgeplatteten Ende als Stiel an den Löffel (s. Abb. 16). Außerdem ist es vorteilhaft, den Löffelrand zu kürzen, da wir hauptsächlich die Kauflächen abformen wollen. Eine Abformung von untersichgehenden Zahnbereichen ist zudem mit erstarrendem Material nicht möglich.

Außer diesem Grundtyp des Löffels, haben sich einige Abwandlungen als nützlich erwiesen. Bei Tumoren des Mundbodens und der Zunge z. B. ist es wünschenswert, wenn sich die Zunge zwischen den Unterkiefer - Zahnreihen befindet, um eine Strahlenbelastung des Gaumens zu vermeiden. Dies kann erreicht werden, indem man den Gaumenteil des Löffels von unten mit der jeweiligen Abdruckmasse ausfüllt, wodurch die Zunge heruntergedrückt wird.

Erfolgt die Bestrahlung senkrecht median, z. B. bei Epipharynxtumoren, wo würden die Messingteile der Halterung bei Verwendung des Standartteils im Strahlengang liegen. Durch Abknicken des Löffelstiels zur Seite (s. Abb. 17, nächste Seite) verläuft in diesem Fall der waagrechte 6 - Kant- Stab der Halterung nicht mehr über der Mitte des Kopfes, sondern außerhalb des Nutzstrahlenbündels.

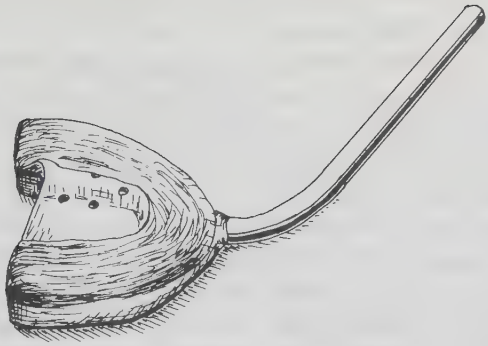


Abb. 17

Eine weitere Abwandlung ist erforderlich bei Tumoren des oberen Rachens und der Nase, bei denen die Nasenatmung behindert ist.und die Patienten auf eine ungestörte Mundatmung angewiesen sind. Dies ist möglich durch eine Sperrung des Bisses. Hierzu benötigt man einen Oberkiefer- und einen Unterkieferlöffel entsprechender Größe. Nach Kürzen der Ränder werden die beiden Löffel mit Kaltpolymerisat entsprechend der gewünschten Kiefersperrung an mehreren Stellen verbunden, wobei gleichzeitig der Löffelstiel in der Mitte eingefügt wird (s. Abb. 18).

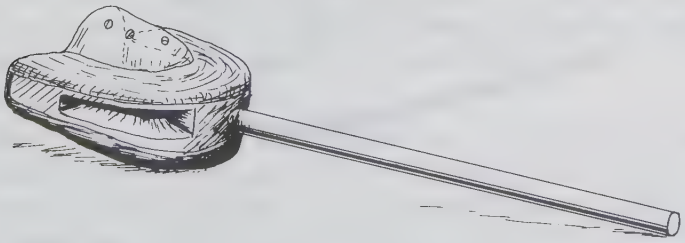


Abb. 18

Der freibleibende Raum zwischen beiden Löffeln ist ausreichend, so daß die Mundatmung nicht beeinträchtigt wird. Die Anwendung der Sperrung erweist sich auch als sehr nützlich bei Unterkiefer - Tumoren, um die Strahlenbelastung des Oberkiefers gering zu halten. Als letztes sei eine Lösungsmöglichkeit für den Fall angeführt, daß ein Patient den Unterkiefer zum Festhalten des Löffels nicht mehr nutzen kann, wie z. B. nach einer Unterkiefer - Resektion. Die Schwierigkeit beruht darauf, den Löffel allein am Oberkiefer exakt zu reponieren. Eine Möglichkeit besteht darin, den Löffel an einer Kopfkappe zu befestigen, wie sie in der Kieferorthopädie die Anwendung findet, um so in seiner Lage zu halten. Hierzu befestigt man ein unelastisches Band mittels Nieten quer über die Mitte des Löffels an dessen Unterseite (Abdruckmasse nur auf der Oberseite). Die beiden Enden dieses Bandes können an Verschlüssen der Kopfkappe stufenlos fixiert werden (s. Abb. 19). Dieses Hilfsmittel wurde zwar noch nicht am Patienten getestet, hat sich jedoch im Selbstversuch als brauchbar erwiesen.

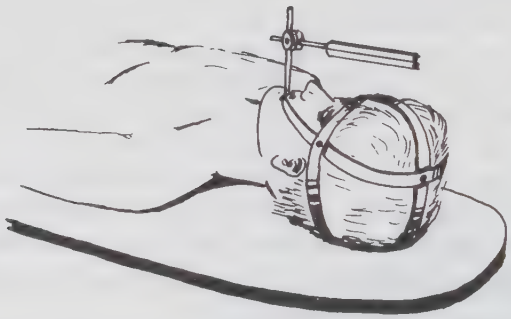


Abb. 19

Selbstverständlich ist eine Kombination der verschiedenen Löffel, gemäß den jeweiligen Anforderungen, möglich.

3.1. Abformmaterialien und Abdrucknahme

3.1.1. Thermoplastische Abdruckmasse

Eine thermoplastische Abdruckmasse hat die Eigenschaft, beim Erwärmen vom festen Zustand in den plastischen überzugehen und beim Abkühlen wieder zu erstarren.

Wir wählten von den vielen im Handel erhältlichen Materialien Xantygen ® braun aus, welches in Packungen zu 10 Platten käuflich ist. Eine Platte ist ausreichend, um einen Abdruck (Kosten ca. 1,20 DM) herzustellen. Da Xantygen ® eine reversibel starre Abformmasse ist, können gleich mehrere Abdrucklöffel vorbereitet werden. Man zerbricht hierzu eine Platte Xantygen ®, erwärmt sie im Wasserbad auf 50 ° C (→ plastischer Zustand) und drückt danach je eine Plattenhälfte auf die Ober- bzw. Unterseite des Abdrucklöffels. Um das Erstarren zu beschleunigen hält man die Löffel kurz unter kaltes Wasser. Die so mit Abdruckmasse beschickten Löffel können nun bis zu ihrer Verwendung unbegrenzt aufbewahrt werden.

Soll ein Abdruck hergestellt werden, sucht man sich einen vorbereiteten Abdrucklöffel benötigter Größe und Form heraus und erwärmt ihn im Wasserbad von 50 ° C, bis er plastisch ist. Dies dauert 1 - 2 Minuten. Nun faßt man den Löffel am Stiel, fordert den Patienten auf den Mund weit zu öffnen, führt den Löffel in den Mund des Patienten möglichst gerade ein und läßt den Patienten ungezwungen zubeißen und in dieser Stellung verharren. Nach ca. 1 Minute ist der Abdruck soweit erhärtet, daß man ihn, ohne der Gefahr der Verformung, aus dem Mund des Patienten nehmen kann. Durch Abkühlen unter kaltem Wasser kann man die vollständige Erhärtung beschleunigen.

Xantygen ® eignet sich zur Abformung von voll- und teilbezahnten, sowie prothetisch versorgten Gebissen. Auch die Abformung von Totalprothesen bereitet keine Schwierigkeiten. Eine Isolation gegenüber natürlichen und künstlichen Zähnen ist ebenfalls nicht erforderlich. Die Haftung auf dem Abdrucklöffel ist gut und auch eine längere Aufbewahrung ohne Veränderungen mög-

lich. Bei längeren Bestrahlungsserien empfiehlt sich eine gelegentliche Reinigung mit einer Zahnbürste unter fließendem Wasser. Wird ein Abdruck nicht mehr benötigt, kann er vom Löffel heruntergeklopft werden und der Löffel so nach Desinfektion wieder Verwendung finden.

3.1.2. Kaltpolymerisat als Abformmasse

Ein Kaltpolymerisat setzt sich aus einem Pulver (Polymer) und einer Flüssigkeit (Monomer) zusammen. Gibt man beide Komponenten zusammen und vermischt sie, so bildet sich zunächst eine zähflüssige, dann eine plastische und schließlich unter starker Wärmeabgabe eine irreversibel starre Masse. Bei Verwendung von Kaltpolymerisat ist es unbedingt erforderlich, Kunststoffüllungen, Kronen und Prothesen gut mit z. B. Vaseline zu isolieren, da es sonst zu einer Verbindung kommen kann. Nach Isolation des Gebisses und Aussuchen eines geeigneten Abdrucklöffels werden Pulver und Flüssigkeit (z. B. Palavit M®) in einer Asphalinschale gemischt. Beim Übergang vom zähflüssigen zum plastischen Stadium wird der Abdrucklöffel mit der Masse auf Ober- und Unterseite beschickt und sofort in den Mund des Patienten gesteckt. Dieser muß zubeißen und diese Stellung solange beibehalten, bis der Abdruck sich merklich erwärmt. Jetzt wird der Abdruck aus dem Mund entfernt und erhärtet unter weiterer Erwärmung vollständig. Die Abdrucknahme dauert ca. 3 Minuten. Durch das Mischungsverhältnis von Pulver zu Flüssigkeit sind jedoch Abweichungen hiervon möglich. Viel Flüssigkeit verlangsamt, wenig beschleunigt den Polymerisationsvorgang.

Problematisch bei Verwendung von Kaltpolymerisat ist die Entfernung des Abdruckes aus dem Mund. Geschieht dies zu früh, kommt es zu Verformungen, zu spät, zu starker Wärmebelästigung, evtl. bei vollständigem Erhärten zum Festhalten an untersichgehenden Stellen der Zähne, falls zuviel Abformmasse verwendet wurde. Gelegentlich kann es auch zu einer Reizung der Schleimhaut durch das Monomer kommen, weshalb eine direkte Abformung der Alveolärkämme nicht durchgeführt werden sollte. Sehr gut ist die Haftung des Kaltpolymerisats auf dem Abdrucklöffel, wo-

von es nicht mehr entfernt werden kann. Aufbewahrt werden die Abdrücke unter Wasser, um eine Schrumpfung der Abdrücke zu vermeiden.

3.1.3. Gummielastische Abformmasse

Es handelt sich hierbei um eine knetartige Masse und einen flüssigen Katalysator, die nach dem Anmischen über den plastischen in den gummielastischen Zustand übergehen. Verwendet werden kann dieses Material bei allen Gebißzuständen. Besonders eignet es sich für zahnlose Patienten ohne prothetische Versorgung.

Ist ein passender Abdrucklöffel ausgesucht, wird dieser zwecks besserer Haftung der Abformmasse mit einem entsprechenden Haftlack bestrichen. Das Anmischen nimmt folgenden Ablauf : Zwei Meßlöffel Silaplast ® (Masse) werden auf einen Anrührblock flach aufgetragen und Rillen eingedrückt. Anschließend werden zwei Meßlöffel Katalysator zugegeben und mit einem Spatel kurz gemischt. Nun wird geknetet, bis Masse und Katalysator homogen verteilt sind. Die Mischzeit beträgt ca. 30 Sekunden. Von jetzt an stehen für das Auftragen der Abdruckmasse auf den Löffel, das Einführen in den Mund und das Zubeißen des Patienten ca. 45 Sekunden zur Verfügung (= Verarbeitungszeit). Nach weiteren 150 Sekunden hat der Abdruck abgebunden und kann aus dem Mund genommen werden. Verwendung von zuviel Katalysator verkürzt die angegebenen Zeiten.

Vorteilhaft ist die gute Verträglichkeit, auch gegenüber der Schleimhaut. Zusätzlich ist eine lange Aufbewahrung möglich und die Wiederverwendung der Abdrucklöffel nach Entfernen von Silaplast ® und Desinfektion der Löffel.

3.1.4. Zusammenfassung

Mittels aller aufgeführten Abdruckmaterialien erhält man einen Abdruck der Kauflächen und benachbarter Zahnflächen des Oberkiefers auf der Löffeloberseite (s. Abb. 20, nächste Seite), des Unterkiefers auf der Löffelunterseite. Dies bedingt eine

Abb. 20

identische Haltung des Löffels, sobald der Patient zubeißt.

Wir entschieden uns bei bezahnten und prothetisch versorgten Patienten für die Anwendung von Xantygen ®. Es ermöglichst die Vorbereitung von Abdrucklöffeln, erfordert keinerlei Vorsichtsmaßnahmen und ist leicht zu handhaben. Zudem ist seine Lagerung problemlos und eine Wiederverwendung der Löffel möglich. Silaplast ® verwenden wir bei prothetisch unversorgten, zahnlosen Patienten. Bei diesen Fällen formen wir auch den Gaumen mit ab. Durch diese großflächige Abformung kann die geringe Elastizität des Abdruckes vernachlässigt werden. Die Abdrucknahme wird als angenehmer empfunden, da die Masse weicher ist und auch nicht ihre Temperatur («) Xantygen ®) störend wirkt. Bezüglich Aufbewahrung und Wiederverwendung der Löffel ist Silaplast ® einem thermoplastischen Material gleichwertig.

3.2. Lokalisation und Bestrahlung

Nachdem der Abdruck des Patienten hergestellt ist, kann mit der Lokalisation begonnen werden. Der Patient legt sich mit Rücken und Hinterkopf auf den Lokalisationstisch und wird ungefähr ausgerichtet. Nun nimmt er seinen Gebißabdruck in den Mund, beißt fest zusammen, und wird über das individuell fi-

xierbare Gelenk mit der Halterung verbunden. Das Gelenk und die Feststellschrauben sind dabei noch nicht angezogen. Unter Durchleuchtungskontrolle wird der Patient genau ausgerichtet und das Zielvolumen, sowie die Bestrahlungsfelder festgelegt. Ist dies geschehen, werden das individuelle Gelenk und die Halterung in der entsprechenden Stellung fixiert (s. Abb. 21). Anschließend wird der Zentralstrahl bei senk-

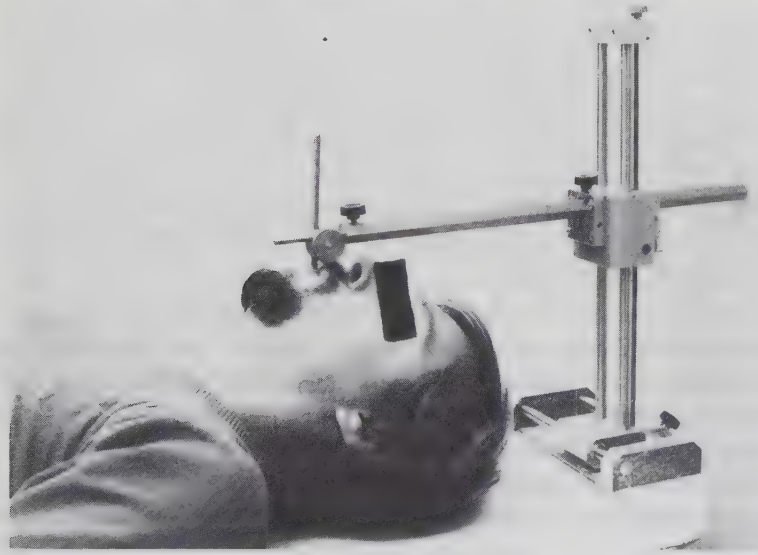


Abb. 21

rechtem Verlauf auf der Haut durch eine Tätowierung markiert. Eine zusätzliche Tätowierung von Bezugspunkten eines raumbezogenen Koordinatensystems, welches bei Bestrahlungen in anderen Körperregionen genutzt wird, ist möglich, jedoch nicht erforderlich. Für die reproduzierbare Übertragung der Lagerung des Kopf- Hals- Bereiches auf den Bestrahlungstisch müssen weiterhin die Einstellhöhe des Lokalisationstisches und der Halterung notiert werden. Nach Abnahme eines Querschnittes durch das Zielvolumen werden die Feststellschrauben von Verbindungsstab und 6 - Kant- Stab gelöst. Durch Zurückschieben des 6 - Kant -

Stabes wird der Verbindungsstab frei, der Patient ist nicht mehr mit der Halterung verbunden und kann seinen Gebißabdruck aus dem Mund nehmen. Dieser wird mit dem individuell fixiertem Gelenk und dem Verbindungsstab in einem Plastikbeutel, der mit dem Namen des Patienten versehen ist, im Bestrahlungsraum aufbewahrt.

Für eine exakte Reproduktion der Lagerung ist es nun erforderlich, daß an dem Bestrahlungstisch eine identische Halterung zur Verfügung steht. Am günstigsten ist es natürlich, wenn ein Zweit - Gerät fest installiert ist. Aber auch ein einzelnes Gerät erfordert keinen wesentlich größeren Aufwand. Plant man die Lokalisationen im Kopf- Halsbereich für den Vormittag, die Bestrahlungen aber für den Nachmittag ein, so sind täglich zwei Umbauten erforderlich. Diese sind wiederum einfach durchzuführen, da die Halterung lediglich über zwei Imbusschrauben an den Tischen befestigt wird.

Die täglichen Bestrahlungen nehmen dann folgenden Ablauf : Der Patient legt sich wie bei der Lokalisation auf den Bestrahlungstisch. Dessen Höhe wird ebenso wie die Halterung gemäß den bekannten Werten von der Lokalisation eingestellt. Der Patient nimmt seinen Abdruck zwischen die Zahnreihen und sein Kopf wird ausgerichtet, bis sich der Verbindungsstab waagrecht in Längsrichtung auf Höhe des 6 - Kant - Stabes befindet. Sind beide Stäbe seitlich versetzt (Patient liegt an anderer Stelle des Tisches), wird dies durch Querverschiebung der Halterung ausgeglichen. Stimmen beide in der Richtung überein, wird der 6 - Kant - Stab vorgezogen und so über den Verbindungsstab geschoben.Anschließend werden die Feststellschrauben der Halterung angezogen.

Der Patient liegt zu diesem Zeitpunkt mit reproduzierter Streckung des Halses, und identischer Höhe zu der Strahlenquelle auf dem Tisch. Seine Körperachsen sind jedoch parallel in Längs- und Querrichtung, bedingt durch ausgleichende Bewegungen der Halterung beim Ausrichten bezüglich der Strahlenquelle verschoben. Diese Abweichungen können durch Längs- und Querverschiebung des Tisches korrigiert werden. Die Lagerung ist beendet,

sobald das den Zentralstrahl darstellende Lichtvisier auf die entsprechende Hautmarkierung trifft. Nach Einstellen der Strahlenquelle (Winkel, Feldgröße, Bestrahlungszeit), kann mit der Bestrahlung begonnen werden. Während der Bestrahlung dient die Halterung als Immobilisationshilfe, was die Ergebnisse der Genauigkeitsuntersuchungen (s. III.4.) zeigen. Nach der Bestrahlung wird der Verbindungsstab von der Halterung gelöst und der Abdruck in seinem Plastikbeutel aufbewahrt.

Möchte man auf die Markierung des Zentralstrahls verzichten, müssen bei der Lokalisation neben den Höhen- auch die Seit- und Längseinstellungen von Tisch und Halterung notiert werden. Vor der Bestrahlung werden diese Einstellungen entsprechend durchgeführt. Der 6 - Kant - Stab (Längseinstellung der Halterung) wird jedoch um 7 cm, soweit wird der Verbindungsstab eingeführt, in Richtung auf die Halterung verschoben. Der auf dem Rücken liegende Patient, der seinen Abdruck fest zwischen den Zahnreihen hält, wird solange ausgerichtet, bis sich der Verbindungsstab waagrecht in Längsrichtung mit seinem konischem Ende genau vor der Bohrung des 6 - Kant - Stabes befindet. Schiebt man den 6 - Kant - Stab darüber, zeigt er dieselbe Längseinstellung wie bei der Lokalisation. Da alle Einstellungen identisch sind, befindet sich der Kopf- Halsbereich in reproduzierter Lagerung und nach Fixierung der Feststellschrauben und Einstellung der Strahlenquelle kann mit der Bestrahlung begonnen werden.

Die erste Anwendungsart bietet den Vorteil, daß nur die Höhen eingestellt werden müssen. Auch bereitet das Ausrichten nur des Kopfes keine Schwierigkeiten und die Korrekturen in Längs- und Seitrichtung sind schnell und einfach durchzuführen. Das Tätowieren von Markierungspunkten eines raumbezogenen Koordinatensystems kann zur zusätzlichen Kontrolle dienen. Das zweite Verfahren bietet den Vorteil, daß keine zusätzlichen Hilfsmittel benötigt werden. Nachteilig ist die Einstellung von je 3 Werten des Tisches und der Halterung. Zudem haben die meisten Tische nur eine skalierte Höheneinstellung und auch an der Halterung müssen zusätzlich Skalen für Seit- und Längsrichtung angebracht werden. Schwierig ist das Ausrichten der Patienten auf dem Be-

strahlungstisch. Da sie meist nicht an identischer Stelle liegen, muß der gesamte Körper auf dem Tisch bewegt werden.

Da das erste Verfahren schneller und einfacher durchzuführen ist, und zudem eine zusätzliche Kontrollmöglichkeit besteht, haben wir uns für dieses entschieden.

4. Genauigkeitsmessung mit Kopfhalterung

Wie bei den Genauigkeitsmessungen ohne Kopfhalterung, bedienten wir uns zur Kontrolle eines raumbezogenen Koordinatensystems mit Lichtanzeigern und tätowierten Hautmarkierungen, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Die Hautmarkierungen befanden sich alle an markanten Stellen (z. B. Nasenrücken, Kinnspitze), um deren Nachteile vernachlässigbar gering zu halten. Die 5 zufällig ausgewählten Patienten hatten ein Alter zwischen 61 und 82 Jahren und reichten vom teilbezahnten ohne prothetische Versorgung bis zum Totalprothesenträger.

4.1. Durchführung der Messung der Reproduktionsgenauigkeit

An 8 bzw. 9 Bestrahlungstagen wurden die Messungen an jedem der Patienten durchgeführt. Dies geschah folgendermaßen : Die Patienten wurden wie im Teil III.3.2. beschrieben ausgerichtet, bis das Lichtvisier des Zentralstrahls auf die entsprechende Hautmarkierung traf. Nun wurde die Abweichung der Lichtvisiere von den beiden anderen Markierungen gemessen.

Bei insgesamt 42 Messungen ergab dies 84 Werte. Bei 23,8 % ergab sich keine Abweichung, bei 45,2 % eine Abweichung von 1 mm, bei 23,8 % eine Abweichung von 2 mm und bei 7,2 % eine Abweichung von 3 mm. Größere Abweichungen kamen nicht vor (s. Abb. 22). Dies ergab eine durchschnittliche Abweichung von 1 mm.

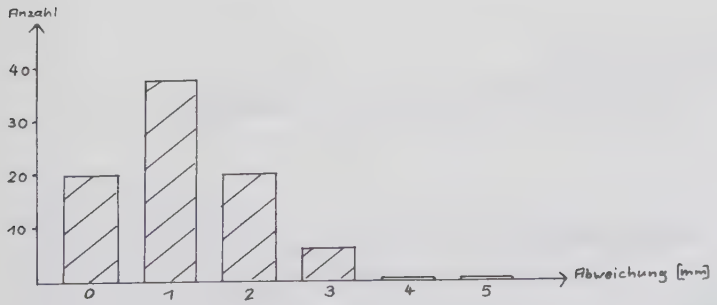


Abb. 22 : Reproduktion

4.2. Durchführung der Messung der Immobilisation

Nach Messung der Reproduktion wurden die von den Hauttätowierungen abweichenden Lichtzeiger markiert. Da die Abweichungen ja nur minimal waren, konnte ohne Bedenken darauf die Bestrahlung durchgeführt werden. Nach der Bestrahlung wurde nun die Abweichung aller 3 Lichtzeiger von den Hauttätowierungen (teils korrigiert) gemessen.

Bei den auf diese Weise durchgeführten 42 Messungen ergaben sich damit 126 Werte. Bei 68,2 % der Werte ergab sich keine Abweichung. 11,1 % zeigten eine Abweichung von 3 mm, 17,5 % von 2 mm und 3,2 % von 3 mm (s. Abb. 23). Größere Abweichungen kamen wiederum nicht vor. Dies entspricht einer durchschnittlichen Abweichung von unter 1 mm.

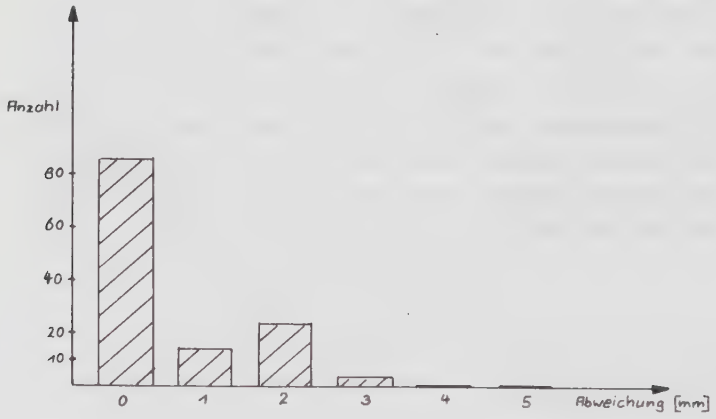


Abb. 23 : Immobilisation

4.3. Ergebnis

Wie die Meßwerte der Untersuchungen zeigen, ist durch die Anwendung der Kopfhalterung eine wesentliche Verbesserung der Be-

strahlungsgenauigkeit erreicht worden. Erwähnenswert sei an dieser Stelle, daß keine Unterschiede trotz unterschiedlicher Gebißverhältnisse bestanden. Beobachtungen des medizinischen Personals während der bisher einjährigen Verwendung dieses Gerätes bestätigen diese Aussage. Abweichungen durchschnittlich von 1 mm sind ohne weiteres zu akzeptieren.

Die Ergebnisse zeigen weiterhin, daß es gar nicht erforderlich ist, die Patienten in einer bestimmten Lage mit " Gewalt " zu fixieren. Der Abdruck dient den Patienten vielmehr als Orientierung, und es ist für sie leicht möglich, diese durch Zubeißen zu nutzen und den Abdruck in seiner exakten Lage zu halten. Es handelt sich also um eine sehr genaue Reproduktion und Immobilisation der Lagerung unter Mitarbeit der Patienten, die bisher jedoch noch keine Schwierigkeiten bereitete.

IV. ZUSAMMENFASSUNG

Die extreme Beweglichkeit von Kopf und Hals führt häufig zu ungenauen Feldeinstellungen oder Feldabweichungen bei der Strahlentherapie. Dies bedingt die Anwendung von Einstell- und Immobilisationshilfen um eine exakte Bestrahlung gemäß der Planung zu ermöglichen.

Die zur Zeit bekannten Hilfsmittel und Geräte erfüllen meist nur einen Teil der an sie zu stellenden Anforderungen und finden deshalb nur vereinzelt Anwendung.

Die vorgestellte Weiterentwicklung einer Kopfhalterung, welche die Konstanz des menschlichen Gebisses nutzt, wird allen ihren Aufgaben gerecht.

Die aufgeführten Abwandlungen der Abdrucklöffel und die Verwendungsmöglichkeit verschiedener Abformmassen erlauben ihre Anwendung bei allen Bestrahlungstechniken im Kopf- Hals- Bereich. Dabei zeigen die Beobachtungen während der bisher einjährigen Nutzung (über 100 Patienten) dieses Modells in der Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie der Universität Würzburg, sowie die durchgeführten Genauigkeitsuntersuchungen, daß nur vernachläßigbar kleine Einstellungsabweichungen von der Bestrahlungsplanung vorkommen und eine sehr gute Immobilisation erreicht wird. Auch ist die Übertragung einer Lagerung vom Lokalisations- auf den Bestrahlungstisch möglich.

Das Gerät zeichnet sich durch eine leichte, schnell erlernbare Handhabung aus und bewirkt keine Verzögerung des Therapiebeginns, sowie der täglichen Bestrahlungen.

Die Patienten fühlen sich durch diese Art einer Halterung nicht belästigt, und zeigen ihrerseits gute Mitarbeit. Bezüglich der Kosten sei noch erwähnt, daß es sich bei der Anschaffung des Gerätes um eine einmalige Ausgabe handelt und später lediglich ca. 1,20 DM pro Abdruck an Unkosten entstehen.

Wegen der guten Erfahrungen mit dieser Halterung in der Klinik und Poliklinik für Strahlentherapie in Würzburg, ist sie hier bei der täglichen Therapieplanung und Durchführung nicht mehr zu entbehren.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

Abbatuci, I. S., R. Quint et al : Techniken der kurativen Telekobalttherapie. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1976

Arsdale, E. D. Van, R. H. Greenlaw : Formalized immobilization and localisation in radiotherapy. Radiology 99, 697 - 698, 1971

Barish, R. J., I. A. Lerch : Patient immobilization with a Low - Temperature Splint/Brace Material. Radiology 127, 548, 1978

Beal, A. D. : A new method of immobilization of patients for radiotherapy. Brit. J. Radiol. 50, 435 - 436, 1977

Berman, H. L. : Immobilization of the head during rotational X - ray therapy. Radiology 68, 579 - 581, 1957

Chavaudra, J., P. Thomas, J. Dutreix : Utilisation d'un faisceau laser pour la mise en place précise des malades. J. Radiol. Electrol. Med. Nucl. 55, 523 - 526, 1974

Combes, P. F., A. Blasco, H. Regis : Un moyen de contention simple et personnalisé en radiothérapie externe : la mousse de polyuréthane. J. Radiol. Electrol. Med. Nucl. 54, 853 - 854, 1973

Cowan, R. J., G. W. Higgins : The use of an invisible fluorescent marker to delineate radiotherapy treatment fields. Radiology 97, 681 - 682, 1970

Goldson, A. L., J. Young et al : Simple but sophisticated immobilization casts. Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys. 4, 1105 - 1106, 1978

Hauskins, L. A., R. W. Thompson : Patient positioning device for external-beam radiation therapy of the head and neck. Radiology 106, 706, 1973

Johnson, R. J., C. Collins : Immobilization of patients during wide-field radiotherapy. Brit. J. Radiol. 44, 724 - 727, 1971

Karzmark, C. J., M. A. Bagshaw et al : The Stanford " bite-block ", a head-immobilization accessory. Brit. J. Radiol. 18, 926 - 928, 1975

Keiling, R., E. Achille, J. M. Grunenwald : Empreinte dentaire de contention pour irradiation des cancers de la tête et du cou. J. Radiol. Electrol. Med. Nucl. 52, 721 - 724, 1971

Kelsey, C. A., R. W. Lane, W. G. Conner : Measurement of patient movement during radiation therapy. Radiology 103, 697 - 698, 1972

Kirsh, I. E., M. Womack : A simple head-holder for radiography. Radiology 86, 1115, 1966

Kogelnik, H. D., F. Schneider, E. Prokosch : Zur exakten Reproduzierbarkeit der täglichen Einstellung bei der Verwendung von Keilfiltern. Strahlentherapie 154, 766 - 767, 1978

Krispel, F. : Ein patientenspezifisches Koordinatensystem zur Reproduzierung der Bestrahlungsparameter. Strahlentherapie 156, 129 - 131, 1980

Lanz, T. v., H. Wachsmuth : Praktische Anatomie / Hals. Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1955

Latourette, H. B., C. S. Simons, I. Lampe : A localization scheme for radiation therapy planning with the Theratron. Radiology 73, 762 - 770, 1959

Lee, K. F. : A new head positioning device for cerebral angiography and pneumoencephalography. Amer. J. Roentgenol. 106, 440 - 441, 1969

Lewinsky, B. S., R. Walton : Lightcast : An aid to planning, treatment and immobilization in radiotherapy and research. Int. J. Radiation Oncology Biol. Phys. 1, 1011 - 1015, 1976

Mallion, W. E., D. R. White : Immobilization of the head in radiotherapy. Brit. J. Radiol. 41, 236, 1968

Matschke, S., J. Richter, K. Welken : Physikalische und technische Grundlagen der Bestrahlungsplanung. VEB Georg Thieme, Leipzig 1968

Mesnil, R. d. : Lehrbuch der Strahlenheilkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 1958

Mörike, K. D., F. Kiss, J. Szentagohai : Lehrbuch und Atlas der makroskopischen Anatomie für Zahnärzte. Gustav Fischer, Stuttgart 1969

Morrision, R. A. : A drop-in treatment shell support. Radiology 114, 734 - 735, 1975

New, P. F. J. : Head-holder for pneumoencephalography. Radiology 78, 628 - 629, 1962

Perez-Tamayo, R., C. E. Seibert : Versaitle positioning aid in fixed and moving field therapy in head and neck tumors. Acta Radiologica 1, 225 - 232, 1963

Pochaczevsky, R., S. Levine : Skull immobilizer and positioner. Amer. J. Roentgenol. 112, 408 - 410, 1971

Reddi, P. R., A. R. Kagan : Precise treatment of head and neck tumors with the aid of a stabilizer and a cardboard jig. Radiology 103, 709 - 711, 1972

Ridings, G. R., P. W. Marvin : A rapid patient immobilization procedure. Radiology 113, 473 - 474, 1974

Roswit, B., C. B. Reid, S. J. Malsky : A cranial immobilization device for use in roentgen therapy. Radiology 68, 419 - 421, 1957

Roth, J., H. Lüthy : Reproduzierbarkeit und Genauigkeit des optischen Distanzanzeigers am Gammatron 1. Strahlentherapie 153, 57 - 60, 1977

Sargent, E. N., J. Posnikoff : Simple portable headholder. Amer. J. Roentgenol. 95, 955 - 956, 1965

Schiebler, T. H. et al : Lehrbuch der gesamten Anatomie des Menschen. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1977

Schlungbaum, W. et al : Medizinische Strahlenkunde. Walter De Gruyter, Berlin-New York 1973

Son, Y. H. : Head immobilization unit in aid of head and neck tumor treatment. Amer. J. Roentgenol. 102, 145 - 146, 1968

Spira, J., P. Plazeski : Multiple purpose head holder. Amer. J. Roentgenol. 106, 216 - 217, 1969

Tolpeshnikov, V. : Head clamp with autotomographic device for pneumography. Acta Radiologica 11, 653 - 656, 1971

Wiedemann, W., J. Lahrsow, R. Naujoks : Eine einfache und praxisnahe Methode zur Herstellung reproduzierbarer Photographien von Frontzähnen und Gingiva. Dtsch. zahnärztl. Zeitschrift 33, 693 - 694, 1978

Wiernik, G. : A new radiotherapy treatment chair. Brit. J. Radiol. 34, 676 - 687, 1961

Herrn Professor Dr. med. W. BOHNDORF darf ich für die Überlassung des Dissertationsthemas sowie für die Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit herzlich danken.

Bei Herrn Professor Dr. med. VIEHWEGER bedanke ich mich für die Übernahme des Korreferats.

Weiterhin danken möchte ich den Herren Dr. E. Richter, Dr. J. Richter und Dr. W. Wiedemann für ihre Unterstützung während der praktischen Erprobung.

L E B E N S L A U F

Geburtsdatum, - ort :	26.9.1956 Würzburg (Bayern)
Eltern :	Josef HENKE Christa HENKE, geb. ADLER
Staatsangehörigkeit :	deutsch
Familienstand :	verheiratet, seit 14.5.1980
Ausbildung :	
Schulen	4 Jahre Volksschule Zellingen (1963-1967) 8 Jahre math.-nat. Gymnasium in Würzburg Röntgen-Gymnasium (1967-1973) Friedrich-Koenig-Gymnasium (1973-1975)
Studium :	Mai 1976 - Juli 1981 an der Julius-Maximilians-Universität Würzburg Naturwissentschaftl. Vorprüfg. April 1977 Zahnärztliche Vorprüfung Oktober 1978 Zahnärztliche Prüfung Juli 1981 Appropation als Zahnarzt 11.8.1981
Wehrdienst :	Juli 1975 - April 1976 als Sanitäts-Soldat in Veitshöchheim Nov. 1981 - April 1982 als Stabsarzt in Hardheim

z. Zt. Tätigkeit als Ausbildungsassistent in privater kassenzahnärztlicher Praxis.

Würzburg, den 22.7.82

Wolfgang Henke

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80

Dissertationsdruck
Schmitt & Meyer

Würzburg Ludwigkai 28a Tel. 7 23 80